

12'84

52^e jaargang

natuur en techniek



natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

Bij de omslag

Vroeger hield men in het oude Rome wagenrennen in het circus. Dit reliëf getuigt hiervan. In het midden van het circus stond een lange, lage muur waar omheen de vierspannen hun wedstrijd hielden. Op de punt stond vaak een obelisk, een symbool van de wereldlijke en religieuze macht. Dit werd ontleend aan het feit dat men dacht dat de wagenrennen de rondgang van de hemellichamen rond de zon voorstelden én dat de keizers hun naam in de obelisk lieten aanbrengen. Zie verder het artikel over obelisken op pag. 954 e.v.

(Foto: Tadema Sporry, Heemstede).

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht. Redactie en Administratie zijn te bereiken op:
Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Telefoon: 043-54044*.
Voor België: Tervurenlaan 62, 1040-Brussel. Telefoon: 0031-4354044.
Advertentie-exploitatie: D. Weijer. Tel. 05987-23065.

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Redactie: Drs. H.E.A. Dassen, Drs. T.J. Kortbeek, J.A.B. Verdijjn.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Olle Junink.

Redactiemedewerkers: Drs. J.H. Frijlink, A. de Kool, Drs. Chr. Titulaer en Dr. J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir. J.D. van der Baan, Dr. P. Bentvelzen, Dr. W. Bijleveld, Dr. E. Dekker, Drs. C. Floor, Dr. L.A.M. v.d. Heijden, Ir. F. Van Hulle, Dr. F.P. Israel, Prof. dr. H. Janssens, Drs. J.A. Jasperse, Dr. D. De Keukeleire, Dr. F.W. van Leeuwen, Ir. T. Luyendijk, Dr. C.M.E. Otten, Ir. A.K.S. Polderman, Dr. J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr. A.F.J. v. Raan, Dr. A.R. Ritsema, Ir. G.J. Schiereck, Dr. M. Sluyser, Prof.dr. J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof. dr. W. J. van Doorenmaalen, Prof. dr. W. Fiers, Prof. dr. J. H. Oort, Prof. dr. ir. A. Rörsch, Prof. dr. R. T. Van de Walle, Prof. dr. F. Van Noten.
De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-v.d. Heuvel, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG offset, Echt (L.). Telefoon 04754-1223*.

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), DIE UMSCHAU (D), SCIENZA E TECHNICA (I) en TECHNOLOGY IRELAND (E), met de steun van het Directoraat-generaal Informatiemarkt en Innovatie van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.

Euro
ARTIKEL

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): Voor Nederland, resp. België: f 89,50 of 1725 F. Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost). Losse nummers: f 8,- of 150 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari óf per 1 juli, doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementssjaar. Zonder schriftelijke opzegging voor het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDSDAARSTENEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen: Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.
Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties: Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.
Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).



ISSN 0028-1093

Een uitgave van

Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

pag. 922-937

SISO 530.4, 540.4, 008

**H.B.G. Casimir - Peter Debye, 1884-1966.**

Honderd jaar geleden werd Peter Debye in Maastricht geboren. Hij was een ongewoon veelzijdig en brillant onderzoeker die in belangrijke mate heeft bijgedragen aan de fysica en de chemie. Hij was zowel theoreticus als experimentator en heeft zich ook enige tijd met de wiskunde beziggehouden. Zijn enorme veelzijdigheid moge blijken uit het feit dat zijn belangrijkste bijdragen slechts summier aangeduid worden.

pag. 938-953

SISO 644.9, 568.1, 953.2

**Christopher Garrett - Wisselstroom uit de tijdstroom - Milieu-effecten van een alternatieve energiebron.**

Het grootste verschil tussen eb en vloed ter wereld treedt op in de Fundybaai aan de Canadese oostkust. Het plan deze getijbewegingen om te zetten in elektrische energie heeft vragen opgeworpen over de milieu-effecten van een getijcentrale. Dat maakte fundamenteel onderzoek naar de betekenis van de getijden voor dat gebied noodzakelijk.

pag. 954-961

SISO 922.1

**Bob Tadema Sporry - Obelisken.**

De obelisk is naast de piramide het bekendste Egyptische monument en gold als symbool voor religieuze of wereldlijke macht. Obelisken werden liggend uit één stuk rots gehouwen, liggend naar hun standplaats vervoerd en pas daar rechtop gezet. Obelisken zijn door de eeuwen heen zeer in trek geweest bij volkeren buiten Egypte. Dit verklaart hun aanwezigheid in steden als New York, Parijs, Londen en Rome.

pag. 962-977

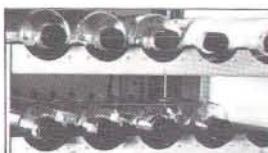
SISO 584, 586.6

**G.J.C. Butch - Kolonisatie en successie - Wisselende plantengroei in een natuurgebied.**

Na de afsluiting van de Grevelingen begonnen planten te groeien op voorgoed drooggevallen schorren en platen. De oorspronkelijke zoutplanten verdwenen echter weer, net als de soorten die er zich later vestigden. In de loop der jaren hebben zich hier zeer veel, vaak zeldzame soorten gevestigd.

pag. 978-991

SISO 573.4, 614.53

**E.J. Ruitenberg - Vaccinbereiding - Micro-organismen in macroproductie.**

Vaccinatie berust op het opwekken van de productie van antistoffen door toediening van antigenen afkomstig uit de ziekteverwekker. Uitgebreide programma's hebben een groot aantal besmettelijke ziekten praktisch doen verdwijnen. De omvang van deze programma's maakten schaalvergroting in de vaccinbereiding noodzakelijk.

pag. 992

Actueel.

pag. 1001

Bezienswaardig.

pag. XVI

Tekst van Toen.

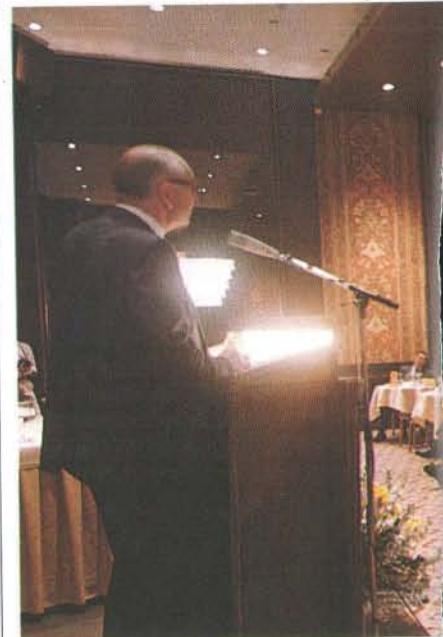


De bij de LOF-prijs horende legpenning, die hoofdredacteur/directeur Theo Martens in ontvangst mocht nemen.

Veel mensen uit het Nederlandse tijdschriftenbedrijf gaven blijk van hun belangstelling tijdens de jaarvergadering van de NOTU, waar de heer drs. P. Emondts, ex-president-directeur van VNU, zijn visie gaf op de toekomst van het uitgeversbedrijf.

Voor de tweede keer dit jaar is Natuur en Techniek in de prijzen gevallen. Was het in dit voorjaar de prijs van de Grote Nederlandse Larousse voor de overdracht van wetenschappelijke kennis aan een breed publiek, deze keer had de jury van het Lucas Ooms Fonds (L.O.F.) dit blad uitgekozen voor een prijs, bestaande uit een legpenning, een cheque en natuurlijk de bijbehorende eer. Het Lucas Ooms Fonds is ingesteld om prijzen beschikbaar te stellen aan bladen en bladenmakers die zich hebben onderscheiden binnen de tijdschriftenuitgeverij. Het was de tweede keer dat de prijs werd uitgereikt. Vorig jaar werd hij toegekend aan het weekblad Libelle.

De jury heeft haar beslissing de prijs aan Natuur en Techniek toe te kennen als volgt gemotiveerd: "Sinds tal van jaren is Natuur en Techniek een sierraad voor de Nederlandse uitgevers. Niet alleen vanwege de redactionele inhoud en de vormgeving, maar vooral ook vanwege de wijze waarop dit blad



kans ziet vaak ingewikkelde onderwerpen voor een groter publiek toegankelijk te maken. Daarbij slaagt samensteller Theo Martens er in deskundigen van internationale faam aan zijn blad te verbinden. Bovendien ziet hij kans – met zijn blad als podium – ook op andere wijze belangstelling te wekken voor de natuur en de techniek, zoals door organisatie van symposia, reizen en andere manifestaties. Natuur en Techniek is in wezen gegroeid vanuit een eenmansoperatie

LOF voor Natuur en Techniek



Boven: Het hoogtepunt van de bijeenkomst: aan het eind van zijn rede overhandigt minister van Aardenne de LOF-prijs aan Theo Martens.

waarbij de functies van uitgever en hoofdredacteur zijn verenigd. Ook in dit opzicht is het blad vrijwel uniek in de Nederlandse tijdschriftenwereld."

Directeur-hoofdredacteur Martens was duidelijk in zijn schik met deze LOFuitingen, maar dat wel namens velen: "De eer komt meerderen toe. Velen hebben zich de afgelopen jaren ingezet om Natuur en Techniek te maken tot het blad dat deze prijs waardig is bevonden," zei hij in zijn dankwoord.

Plaats van handeling was de balzaal van het Amsterdamse Hilton-hotel, waar op de 25ste oktober de Nederlandse Organisatie van Tijdschriftenuitgevers (NOTU) haar jaarvergadering hield. Dat betekende een bijeenkomst van honderden uitgevers die zich weliswaar zorgen maken over de mogelijke concurrentie van nieuwe media, maar die, getuige een voordracht van drs. P. Emondts, aftredend president-directeur van het VNU-concern, er toch stellig van overtuigd zijn dat

Onder: De oprichter van Natuur en Techniek, oud-Elsevierdirecteur J.P. Klautz (80) was speciaal voor deze gebeurtenis uit Frankrijk naar Amsterdam gereisd om de lauwing van zijn geesteskind mee te maken.



Rechtsboven: Tot de belangstellenden die acte-de-presence gaven behoorden o.a. de voormalige minister van Wetenschapsbeleid Trip (rechts) en Sittards burgemeester Tonnaer.

het tijdschrift nooit verloren zal gaan. In het aan de prijsuitreiking gewijde deel van de bijeenkomst kwamen er nog wat illustere figuren bij: de minister van Economische Zaken, drs. G.V.M. van Aardenne kwam de prijs uitreiken, oud-minister van Wetenschapsbeleid F.H.P. Trip was er, en J.P. Klautz, de man die in 1932 als eerste hoofdredacteur bij uitgeverij Elsevier met Natuur en Techniek is begonnen, was speciaal overgekomen uit zijn woonplaats in Bretagne om te zien wat er in een halve eeuw van zijn geesteskind was geworden.



Hij – en de andere aanwezigen – kon op zijn gemak de ontwikkelingsgeschiedenis volgen aan de hand van een nogal omvangrijke tentoonstelling waarin, op een typische Natuur en Techniek-manier, dus met veel fraai plaatwerk, de verschillende aspecten van de geschiedenis naar voren kwamen: de zwerftocht van het blad langs een aantal uitgevers, de geleidelijke verandering in vormgeving, waarbij vele jaren lang een ietwat gestyloerde vogel en idem vliegtuig (zo heette dat toen) in helder blauw het beeldmerk vormden.

In 1960 nam Th.J.M. Martens, als bouwkundige werkzaam bij de met sluiting bedreigde Staatsmijnen (nu DSM), het blad over van Uitgeverij Centen. Het blad had een kwijnend bestaan, grote investeringen in een vernieuwing pasten niet bij de uitgeverij. Natuur en Techniek stond eigenlijk op het

punt te worden opgeheven. Maar dat ging Centen's directeur Joh.T. Hulsekamp aan het hart en hij was blij in Martens iemand te vinden aan wie hij het blad kon toevertrouwen.

Nadien ging het snel beter. Dank zij Martens' doorzettingsvermogen en onorthodoxe aanpak kwam het blad snel uit het diepe dal waarin het verkeerde. Om tot een andere formule te komen trok Martens A. de Kool aan, die van 1967 tot 1974 naast hem als hoofdredacteur heeft gewerkt. Zij en de medepioniers J. Hornstra en H. Beurskens zochten en vonden een andere vorm, die later door anderen werd geconsolideerd en die men kent van het voorliggende blad.

Een marktanalyse had in 1966 geleid tot de conclusie, dat er zo'n 55 000 tot 60 000 potentiële lezers in ons taalgebied zijn voor een blad als Natuur en Techniek. Het aantal abonnementen is voortdurend gestegen en de laatste tijd gestabiliseerd in de buurt van bijna negentig procent van dit potentieel.

Maar, zoals Martens zei in zijn dankwoord: "Prijzen worden nimmer gegeven voor wat iemand in de toekomst denkt te gaan doen. Ze hebben betrekking op een verleden, vaak op een niet eens zo heel



recent verleden." De prijs van het Lucas Ooms Fonds mag dan Martens blij maken over de erkenning van zijn streven en zijn succes, de prijs legt voor hem vooral de verplichting op door te gaan, niet tevreden te zijn met het bereikte maar zich gereed te maken voor de komende klimpartij uit het dal waarin de hele economie zich bevindt.

Niemand minder dan de minister van Economische Zaken droeg daarbij een belangrijke taak aan. Hij ziet zeer ingrijpende technologische veranderingen komen, die op allerlei manieren vrijwel ieders leven zullen beïnvloeden. "Tijdige voorbereiding op deze ontwikkelingen, die – voor zover ze al niet hun invloed doen gelden in onze huiskamers of op het werk – dan toch in ieder geval op de stoep staan, vergroot de mogelijkheden voor elk van ons om aan die ontwikkeling deel te nemen. Alleen door deze deelname kan worden bereikt dat er een evenwichtig maatschappelijk draagvlak ontstaat ten aanzien van wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen."

De regering hecht veel belang aan dat maatschappelijke draagvlak. Voor haar, in elk geval voor drs. van Aardenne, ligt een van de belangrijkste functies van de pers



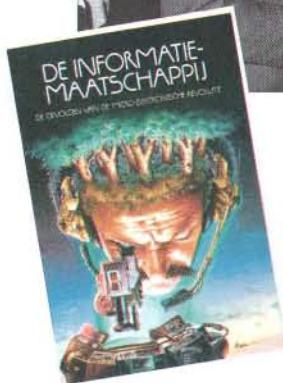
juist in het onder de aandacht van de lezers brengen van de technologische ontwikkelingen om "zo een bijdrage te leveren aan het ontstaan van een evenwichtig maatschappelijk draagvlak voor deze ontwikkelingen".

En: "Een belangrijke reden waarom ik deze prijsuitreiking verricht, is gelegen in het belang dat het kabinet hecht aan verspreiding van informatie over wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen onder brede lagen van de Nederlandse samenleving. Zoals ook onderstreept in recente beleidsnota's als het rapport van projectgroep Technologiebeleid, het Informatica-stimuleringsplan en de Nota Integratie van Wetenschap en Technologie in de Samenleving, dient aan deze ontwikkelingen ook in breder verband dan het onderwijs of de bedrijfsgerichte voorlichting aandacht te worden geschonken. In nauwe samenwerking met het departement van mijn collega van Onderwijs en Wetenschappen wordt thans gewerkt aan de oprichting van een stichting die zal worden belast met publieksvoorlichting over wetenschap en technologie. Daarnaast is een extern bureau opgedragen op korte termijn voorstellen in te dienen voor een aantal in 1985 te organiseren publieksgerechte manifestaties rondom informatietechnologie."

Boven: Minister van Aardenne, geflankeerd door NOTU-voorzitter Schellens (links) en NOTU-secretaris Oonincx tijdens Martens' dankwoord.



Links: Tijdens het informele samenzijn na de prijsuitreiking trok de tentoonstelling over de geschiedenis van dit blad vele belangstellenden uit de kring van de tijdschriftuitgevers.



Boven: Minister van Aardenne neemt twee exemplaren van het boek 'De Informatiemaatschappij' in ontvangst als teken van datgene dat op voorlichtingsgebied met betrekking tot de informatietechnologie al gedaan wordt. Een exemplaar was voor onderwijsminister Deetman.

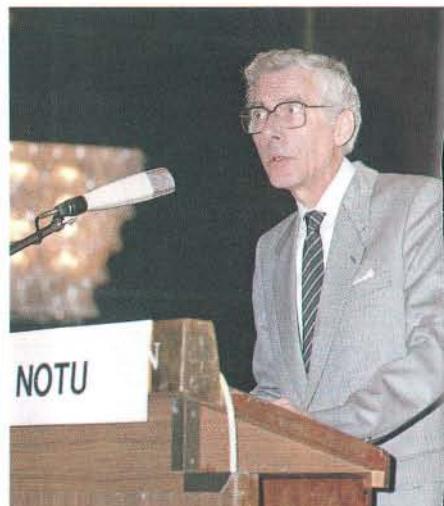
Rechts: Hoofdredacteur/directeur Martens tijdens zijn dankwoord: "Laat de overheid in eerste instantie niet alles zelf doen".

Het publiek waarop deze activiteiten zijn gericht omvat vrijwel iedereen, niet alleen omdat iedereen in het dagelijks leven op de een of andere manier met technische produkten wordt geconfronteerd. "Wanneer we praten over de noodzaak tot adequate opleidingskeuze voor onze jongeren moeten we ons realiseren welke belangrijke rol hun opvoeders bij deze keuzes spelen. Wanneer we grotere mobiliteit van werknemers of grotere risicogeheid bij ondernemers bepleiten, moet worden bedacht dat deze beslissingen niet in een isolement worden genomen maar mede worden beïnvloed door hun sociale omgeving, variërend van gezin tot kennisnemerskring."

Martens sloot hierop in zijn dankwoord aan: "Terecht heeft minister van Aardenne gewezen op het belang van nieuwe technologische ontwikkelingen. (...) Maar m'n collega's weten net zo goed als ik, dat het nogal eens voorkomt dat men aanzienlijke bedragen investeert in nieuwe apparatuur en dat vervolgens de komst van die apparatuur maar al te vaak gepaard gaat met zo veel motivatieverlies bij het personeel, dat we niet goedkoper uitkomen. (...) De moderne apparatuur kan veel, maar alleen als bij iedereen, van hoog tot laag, de wil aanwezig is om van die mogelijkhe-

den gebruik te maken. Dit geldt vermoedelijk voor veel bedrijfstakken, het is zeker waar in de onze, waar men alleen kan slagen als elk nieuw nummer weer een uitdaging betekent voor alle betrokkenen."

En voor wat betreft de voorlichting stelde Martens: "We kennen de heer van Aardenne als iemand met groot vertrouwen in het vermogen van het bedrijfsleven datgene voort te brengen waaraan behoefte bestaat. Op dat vertrouwen baseer ik mijnerzijds het vertrouwen, dat de door de minister genoemde stichting (voor publieksvoorziening)



nauw met het bedrijfsleven verbonden zal zijn. Het zal de minister niet zijn ontgaan, dat hij zich in dat opzicht hier in goed gezelschap bevindt, temidden van mensen wier bestaan afhankelijk is van de kwaliteit van de voorlichting die ze geven."

Als voorbeeld van wat er in die kring aan voor de minister relevante informatie wordt geproduceerd, gaf Martens de minister twee exemplaren mee van het Natuur en Techniekboek 'De Informatiemaatschappij'. Eén exemplaar voor minister Deetman.

DE AUTEURS

Prof. dr. H.B.G. Casimir ('Peter Debye') is in 1909 te 's Gravenhage geboren. Van 1926 tot 1930 studeerde hij wis- en natuurkunde aan de Rijksuniversiteit te Leiden, waar hij in 1931 promoveerde. Na een jaar in Zürich gewerkt te hebben, keerde hij terug naar Leiden waar hij in 1939 bijzonder hoogleraar in de natuurkunde werd. In 1942 trad hij in dienst van Philips waar hij directeur van het Natuurkundig Laboratorium en lid van de Raad van Bestuur was. Van 1973 tot 1978 was hij President van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen.

Dr. Christopher Garrett ('Getijdenenergie') volgde zijn opleiding aan het Clifton College in Bristol en aan de Universiteit van Cambridge, waar hem in 1967 een Research Fellowship aan het Trinity College werd aangeboden. Na als onderzoeker werkzaam te zijn geweest aan de Universiteit van British Columbia en Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, Californië, werd hij in 1971 benoemd aan het Oceanography Department aan de Dalhousie University, Halifax, Canada.

B. Tadema Sporry ('Obelisken') werd op 16 februari 1912 te Makasar, het tegenwoordige Ujung Pandang, geboren en is daar ook opgegroeid. Zij is publiciste en heeft een groot aantal boeken geschreven, o.a. over Egypte en Indonesië. Zij reist veel over de wereld samen met haar man die de dia's en foto's bij haar artikelen en boeken verzorgt.

Drs. G.J.C. Buth ('Kolonisatie en successie') werd op 30 maart 1952 in Dirksland (Goeree-Overflakkee) geboren. Hij studeerde van 1970 tot 1978 biologie aan de Rijksuniversiteit van Utrecht. Thans is hij verbonden aan het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek in Yerseke en werkt aan een proefschrift over de structuur, productie en dekompositie van zoutvegetaties.

Prof. dr. E.J. Ruitenberg ('Vaccinbereiding') is op 24 mei 1937 te Amersfoort geboren. Hij studeerde diergeneeskunde aan de Rijksuniversiteit Utrecht, waar hij in 1970 promoveerde. In 1962 trad hij in dienst van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, waarvan hij sinds 1980 directeur is. Hij is daarnaast buitengewoon hoogleraar in de veterinaire immunologie aan zijn alma mater.

Eén dag naar de NOT '85 maakt u jaren wijzer!

Op de NATIONALE ONDERWIJSTENTOONSTELLING kunt u zich bijscholen op het gebied van

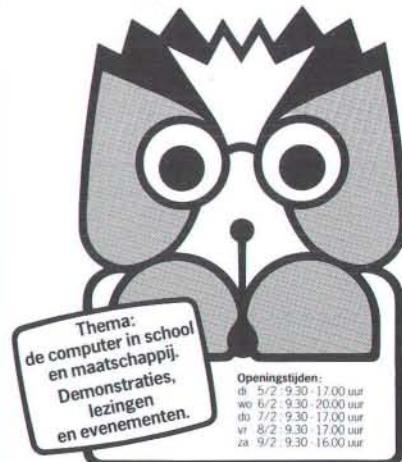
- leermiddelen, methoden en technieken voor onderwijs en vormingswerk
- scholenbouw en -inrichting, schooladministratie
- audio-visuele technieken, hulpmiddelen voor natuurwetenschappen
- informatica-onderwijs en computerkunde
- volwassenen-educatie/buitenschools onderwijs en kreative vakken

Bovendien: speciale themadagen t.b.v.:

- schooladministratie (5 febr.)
- basisonderwijs (6 febr.)
- schooldecanten (7 febr.)
- volwassenen-educatie (8 febr.)
- voortgezet onderwijs (9 febr.)

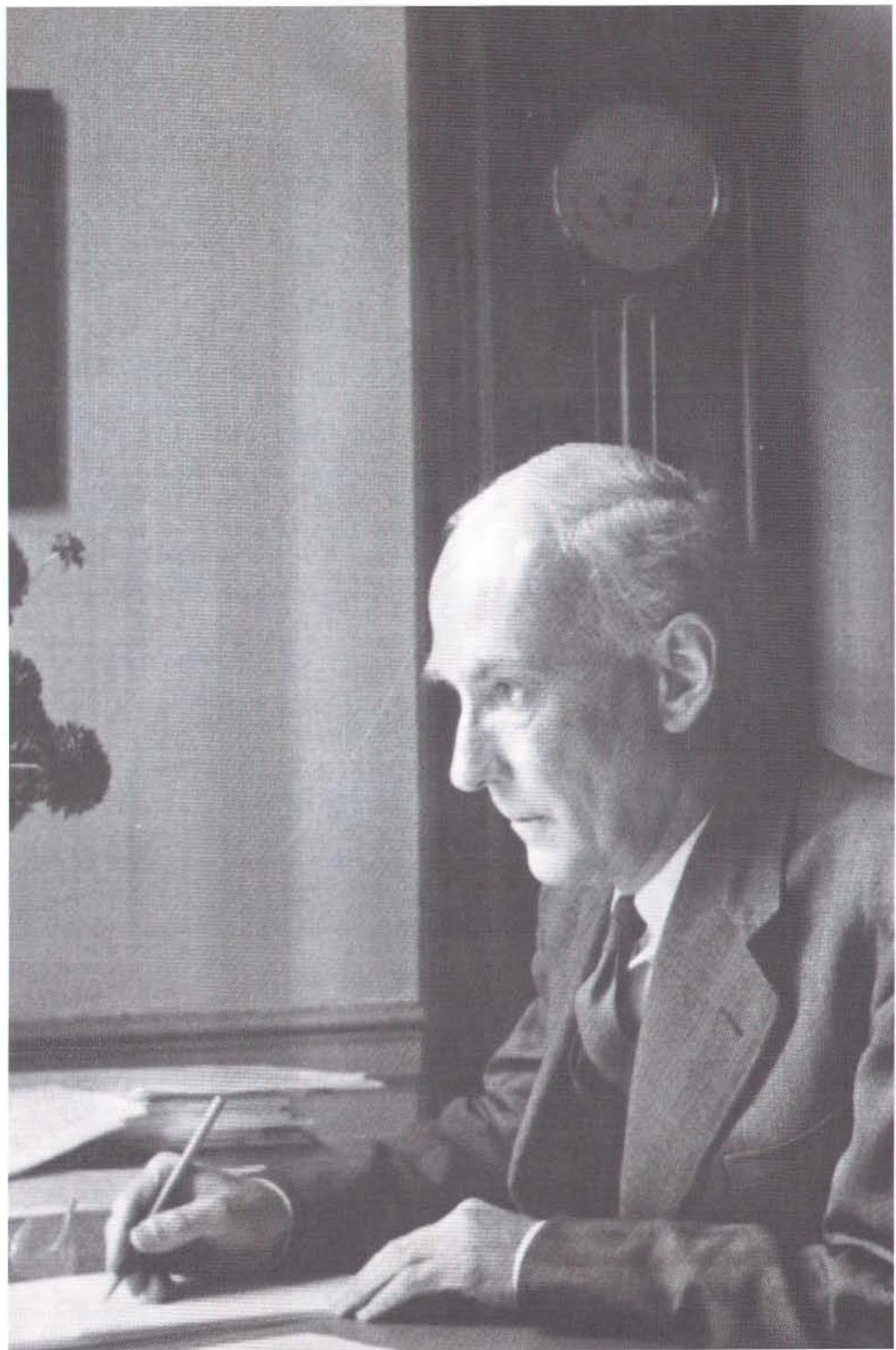
Volledig programma wordt in de NOT-krant opgenomen

DI. 5 t/m ZA. 9 FEBR. '85



JAARBEURS  UTRECHT

Kon. Ned. Jaarbeurs - Postbus 8500 - 3503 RM Utrecht
Tel. 030-955911 - Telex 47132 - Videotel nr. 350414



Balzanprijs voor prof. dr. J.H. Oort

december | '84

Vorige maand heeft de Leidse emeritus-hoogleraar dr. Jan Hendrik Oort van de Italiaanse president, Sandro Pertini de Balzanprijs uitgereikt gekregen. De prijs werd ook uitgereikt aan de Amerikaanse zoöloog Sewall Wright en de Zwitser Jean Starobinski, hoogleraar Franse letterkunde aan de universiteit van Genève. De Balzanprijs, dit jaar 250000 Zwitserse frank voor elke laureaat, wordt elk jaar uitgereikt aan mensen die internationale erkenning ondervinden voor hun prestaties op het gebied van de bevordering van begrip, vriendschap en vrede tussen de volkeren, van de literatuur, kunsten en natuurwetenschappen waarin begrepen de geneeskunde. Elk jaar stelt een comimmissie van gevaste intelleguelen (de Nederlandse taalkundige prof. dr. S. Dresden is er lid van) tevoren vast op welke vakgebieden precies de prijzen zullen worden toegekend. Voor 1984 waren dat de astrofysica, de genetica en literatuurgeschiedenis.

Prof. Oort is vooral bekend als pionier op het gebied van de radiosterrenkunde. Nadat dit verschijnsel aan het einde van de jaren dertig was ontdekt heeft Oort de jonge promovendus (inmiddels zelf hoogleraar met internationale faam) H.C. van de Hulst gesuggereerd eens uit te rekenen of waterstof niet een heel bepaalde golflengte in het radiogebed zou uitzenden. Waterstof vormt veruit het grootste deel van de massa van het heelal, het komt, in meer en vooral in minder dichte vorm (0,5 atoom per kubieke centimeter in de galactische ruimte) min of meer overal voor. Van de Hulst ontdekte de 21-cm lijn, waaraan met de radiotelescoop te Dwingeloo – destijds de grootste ter wereld – baanbrekend werk is verricht. Altijd weer onder aanvoering van Oort kon men meer inzicht krijgen in de structuur en dynamica van het melkwegstelsel en later, toen er nog gevoeliger radiotelescopen waren, van de intergalactische materie.

Dwingelo werd van de eerste plaats verdrongen, maar met name Oort wist voor elkaar te krijgen, dat Nederland opnieuw de grootste radiotelescoop ter wereld kreeg, die te Westerbork. Ook die is inmiddels achterhaald maar functioneert nog wel degelijk in het kader van de 'long base interferometry', waarbij telescopen in bijv. Nederland en de VS via een computer tot één waarnemingspost worden geïntegreerd. Daarbij wordt een oplossend vermogen bereikt, veel groter dan van optische telescopen.

En aan de basis van dit alles staat Jan Hendrik Oort, nu 84 jaar, met eigen werk-kamers in Leiden en Princeton. In 1951 (Oxford), 1955 (Leuven) en 1963 (Canberra, Australië) kreeg hij eredoctoraten. Al in 1945, het jaar waarin hij ook gewoon hoogleraar te Leiden werd, kreeg hij de gouden medaille van de Britse Royal Society, in 1966 de grote internationale Vetlesenprijs. Het is typerend voor deze veelzijdige intellectueel, dat hij in 1960 de Gouden Ganzeveer kreeg, een prijs van de Koninklijke Nederlandse Uitgeversbond, voor een vertaling van het dichtwerk van Nijhoff. En bij dat alles is prof. Oort ook nog een buitengewoon aardig mens.

Natuur en Techniek is daarom dankbaar en trots dat prof. dr. J.H. Oort door een plaats in de Redactieadviesraad aan het blad verbonden is.

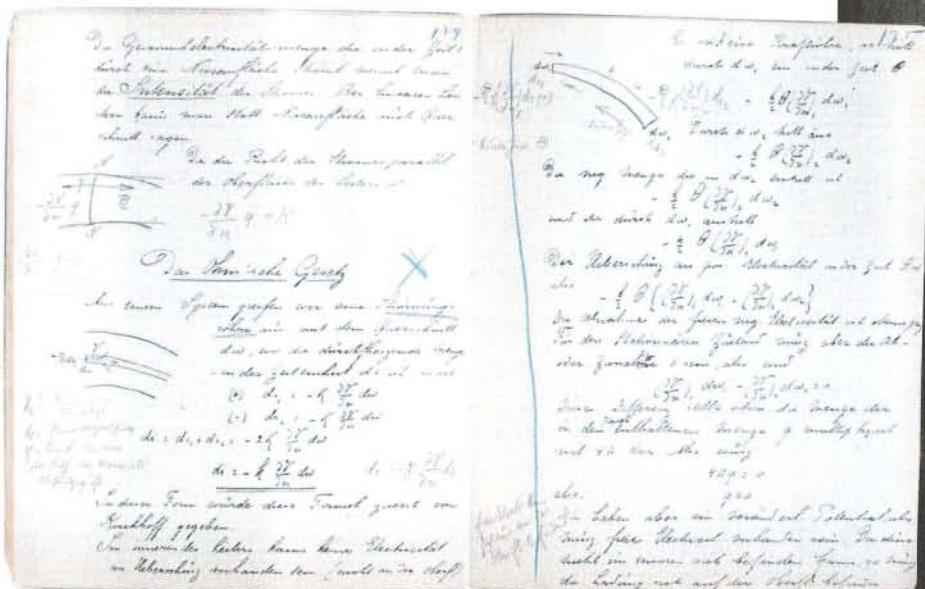
natuur
en
techniek

PETER DEBYE

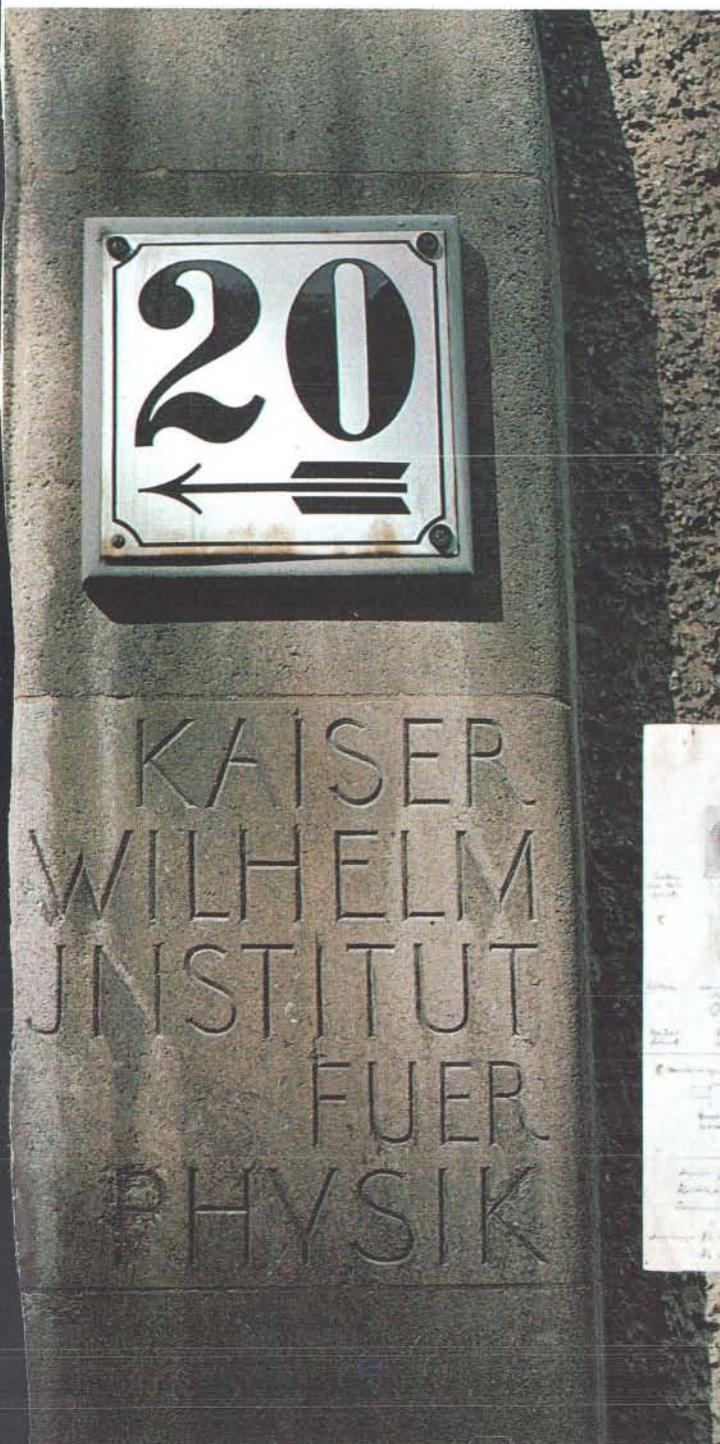
1884-1966

Peter Debye was een ongewoon veelzijdig en brillant onderzoeker. Hij heeft in belangrijke mate bijgedragen tot vele gebieden van de fysica en de chemie. Hij was zowel theoreticus als experimentator en in zijn jonge jaren heeft hij ook nieuwe wiskundige resultaten gevonden. Hij was Nederlander van geboorte, maar hij heeft vooral ge-

werk in Duitsland, Zwitserland en de Verenigde Staten. Zijn honderdste geboortedag is een welkome aanleiding om over hem te schrijven. Omdat we daarbij vooral zijn veelzijdigheid willen doen uitkomen, kunnen we niet diep op zijn werk ingaan: veel van de onderwerpen zullen we slechts summier aanduiden.



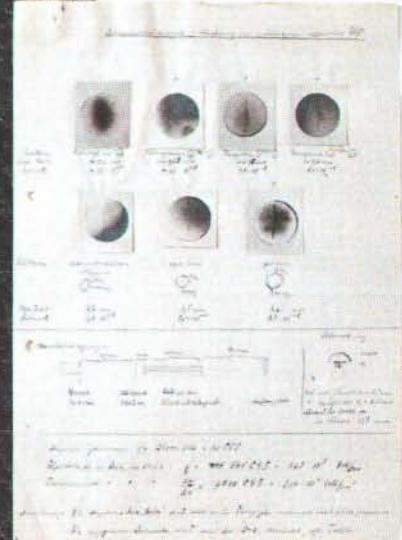
Boven: Tijdens zijn loopbaan als lector maakte Debye nog vaak gebruik van zijn collegedictaten uit zijn studietijd in Aken om nog eens iets na te slaan. Daarbij maakte hij aantekeningen in de marge.



H.B.G. Casimir
Heeze

Links: De ingang van het Kaiser Wilhelm Institut für Physik ligt aan de Boltzmannstraße 20 in Berlijn. Debye was in de jaren 1935-1940 directeur van dit instituut. Later werd het omgedoopt tot Max Planck Institut.

Onder: Als wetenschapper en experimentator werd de hulp van Debye vaak ingeroept; hier een gedeelte van een brief van dr. Estermann uit Hamburg met daarin foto's voor de bepaling van dipoolmomenten van bepaalde moleculen.

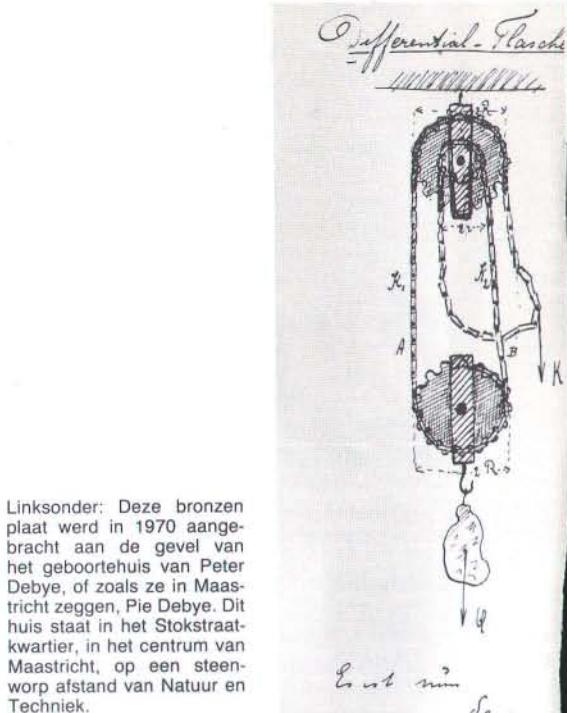


Afkomst en schooljaren

Petrus Josephus Wilhelmus Debije, beter bekend als Peter Debye, was Nederlander, maar vooral Limburger. Hij werd op 24 maart 1884 te Maastricht geboren; zijn voorouders hebben voor het merendeel daar gewoond en ook in later jaren sprak hij nog graag het plaatselijk dialect. Zijn vader werkte als vakman in een metaalwarenfabriek, zijn moeder was jarenlang cassière van de schouwburg.

Beiden hadden volledig begrip voor de uitzonderlijke begaafdheid van hun zoon en ze hebben alles gedaan om zijn studie mogelijk te maken. Peter ging naar de HBS en deed in 1901 eindexamen. Zijn cijferlijstje is interessant: algebra 8, stereo 10, gonio 8, beschrijvende meetkunde 8, mechanica 10, natuurkunde 10, scheikunde 9, plant- en dierkunde 10, aardrijkskunde 8, geschiedenis 6, staatsinrichting 7, staatshuishoudkunde 6, Nederlands 9, Frans 8, Duits 8, Engels 5. Hard gewerkt heeft hij tijdens zijn HBS-jaren niet. Het leren ging hem gemakkelijk af en hij had allerlei liefhebberijen. Hij was verzot op opera's, ging graag de vrije natuur in en haalde het noedige kattekwaad uit.

Vervolgens ging hij studeren aan de technische hogeschool te Aken, aanvankelijk als spoorstudent. Studeren in Aken was niet onge-



Rechts: Twee verschillende pagina's uit de college-aannteekeningen, die Debye in Aken maakte, laten ons zien dat hij toen al nauwgezet werkte met oog voor detail.



bruikelijk in Limburg, want het ligt veel dichterbij dan Delft. Waarschijnlijk was dit voor Debye vanwege financiële redenen de enige plaats die in aanmerking kwam om een studie te volgen.

Wetenschappelijk gezien had de keuze echter niet beter kunnen zijn. Debye volgde de opleiding voor elektrotechnisch ingenieur, legde zich vooral toe op de theorie en kwam daarbij al spoedig in aanraking met de jonge hoogleraar Arnold Sommerfeld (1868-1951). Sommerfeld was een voortreffelijk fysicus (hij is een van de weinige fysici van wie ik zou durven beweren, dat het Nobelcomité een aperte fout heeft gemaakt door hem nooit de prijs toe te kennen) maar nog groter waren zijn verdiensten als leermeester. Pauli, Heisenberg, Bethe en vele andere beroemdheden hoorden later tot zijn leerlingen. Debye was een van zijn eerste 'ontdekkingen'. Zodra Sommerfeld

zing (Weston)

Theorie ohne Berücksichtigung der Reibung

R bewegt sich um δs

$$Q \cdots \delta s^q$$

Drehten wir sie über Rollen einmal um, so beschreibt jeder Punkt des Umfangen $2\pi R$, und jeder Punkt des kleineren Umfangen $2\pi r$. Da der Teil A hebt sich um $2\pi R$, der Teil B zieht sich um $2\pi r$, ein Punkt des Umfangen der unterste Rolle beschreibt um $2\pi R - 2\pi r$.

Q beschreibt also den Weg $\frac{1}{2}(2\pi R - 2\pi r)$, $\pi(R-r)$.

$$\frac{R-r}{R} = \frac{1}{2} \frac{R-r}{R}$$

inhelten arbeiten ist

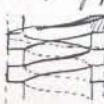
$$Q \cdot S_q \\ = \frac{\delta s}{120}$$

$$\eta = \frac{Q \cdot S_q}{K \cdot S_s} = \frac{Q}{K} \cdot \frac{S_q}{S_s}$$

$$\eta = \frac{M+1}{M-\frac{1}{R}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{R-r}{R}$$

Schrauben.

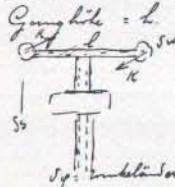
Flachgewinde



Schraffgewinde



Theorie ohne Reibung.



$$S_w = \frac{F}{l} S_y$$

$$S_w = \frac{F}{l} \cdot \frac{K_f}{2} S_s$$

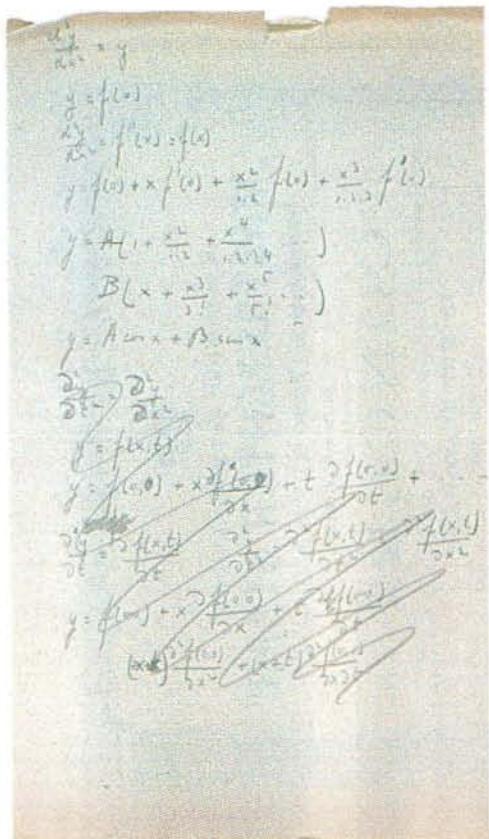
S_y : Anhebung

een assistent mocht aanstellen, koos hij Debye en toen hij in 1906 in München werd benoemd, waar hij tot het eind van zijn leven is gebleven, nam hij Debye mee. Ik wil nu eerst kort diens verdere loopbaan schetsen.

Debye's loopbaan

Reeds in 1911 werd Debye benoemd tot hoogleraar in de theoretische natuurkunde aan de kantonale universiteit te Zürich en wel als opvolger van Einstein, die naar Praag vertrok (maar in 1912 terugkwam naar Zürich als hoogleraar aan de ETH, de Eidgenössische Technische Hochschule). Van 1912 tot 1914 was hij hoogleraar in Utrecht; in de theoretische natuurkunde, maar men had hem toegezegd dat hij ook zou kunnen experimenteren. Daar is het echter niet van gekomen en in 1914 vertrok hij naar Göttingen, nu als hoogleraar

zowel in de experimentele als de theoretische natuurkunde. Van 1920 tot 1927 was hij in Zürich hoogleraar en directeur van het fysisch laboratorium van de ETH. Van 1927 tot 1934 was hij in Leipzig, nu alleen als hoogleraar in de experimentele natuurkunde. In 1934 werd hij leider van het Kaiser Wilhelm Institut (later omgedoopt tot Max Planck Institut) voor natuurkunde in Berlijn. Januari 1940 verhuisde hij naar de Verenigde Staten. Aan de Cornell University in Ithaca werd hij benoemd tot hoogleraar in de scheikunde en 'head of the department of chemistry'. Ook na zijn emeritaat in 1952 heeft hij daar zijn werk voortgezet. Hij overleed op 2 november 1966 in Ithaca, New York. Aan de hand van dit schematisch overzicht zal ik nu trachten de hoofdpunten van zijn werk te beschrijven. Daarbij zal ik aandacht schenken aan persoonlijke én wetenschappelijke feiten uit zijn leven.



de voortplanting van golven een belangrijke rol spelen. In Debye's ontwikkelingsgang heeft dit werk nog een andere betekenis. Men zou kunnen zeggen dat hij zich in deze jaren de wiskundige vaardigheid eigen heeft gemaakt, die hem zijn hele verdere leven zal blijven dienen. Misschien zou men zelfs mogen zeggen dat al zijn latere werk in wiskundig opzicht eenvoudiger is en dat hij wat de wiskunde betreft omstreeks 1910 zijn top heeft bereikt. Daarmee heeft hij een instrument in handen gekregen, dat hij gedurende zijn gehele verdere loopbaan met virtuoos gemak zal hanteren, maar dat hij nauwelijks meer uitbreidt en niet met andere takken van wiskunde aanvult. Wat het peil van zijn wiskunde betreft, ik kan er mee volstaan te vermelden dat de grote Göttinger mathematicus David Hilbert (van wie de uitspraak bekend is "de natuurkunde is voor de natuurkundigen veel te moeilijk geworden") hem hoog aansloeg.

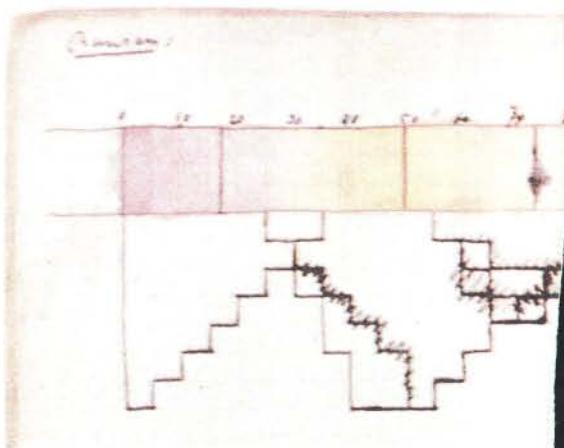
Uit Debye's latere Münchener tijd stammen ook twee verhandelingen over geheel andere onderwerpen. Een verhandeling over de elektriciteitsgeleiding door elektronen in metalen was gedeeltelijk onjuist, zoals o.a. door Niels Bohr in diens dissertatie van 1911 werd opgemerkt. Van grote betekenis was zijn eenvoudige afleiding van de stralingsformule van Planck.

Aken en München

In Aken en München werkte hij hoofdzakelijk aan problemen uit de theorie van elektromagnetische velden; ook de theoretische optica valt daar natuurlijk onder. Zijn 'Diplomarbeit' (Aken, 1906) ging over wervelstromen in rechthoekige geleiders, zijn dissertatie (München, 1908) over de strooiling van licht door kleine deeltjes en de theorie van de regenboog. Dit werk was ongetwijfeld belangrijk; veel van zijn resultaten horen op dit ogenblik (midden jaren tachtig) tot de standaardkennis op dit gebied. Ze anticiperen gedeeltelijk zelfs op zaken met betrekking tot de radartechniek die gedurende en na de Tweede Wereldoorlog pas tot stand kwam.

In wiskundig opzicht nieuw waren zijn reeksontwikkelingen van de zgn. Bessel- en Hankelfuncties, functies die bij de studie van

Linksboven: Peter Debye gebruikte de achterkant van het programma van de 'Mestreechter Staar' (24 augustus 1903) als kladpapier. In zijn nalatenschap in Berlijn bevinden zich vele van dit soort velletjes; zuinig was hij well



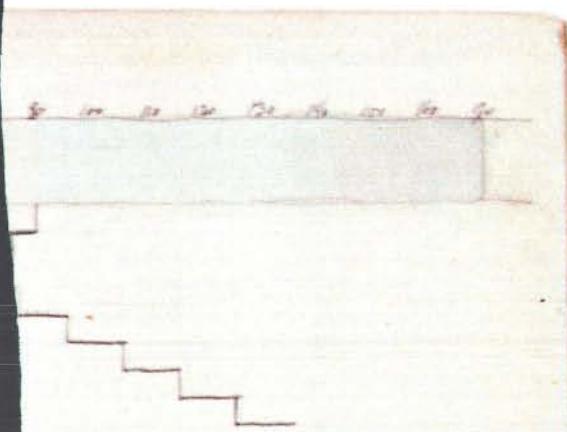
Debye's afleiding van de Wet van Planck

Bij zijn pogingen een theoretische grondslag te vinden voor zijn half-empirische, bijzonder goed met de waarnemingen kloppende formule, beschouwde Planck steeds materiële resonatoren in wisselwerking met de straling. Debye, in het voetspoor van de Engelse onderzoekers Rayleigh en Jeans, beschouwt uitsluitend het stralingsveld dat kan bestaan binnen een kubus met oneindig goed geleidende wanden. Het kan worden opgevat als een superpositie van staande golven. (Door de ontwikkeling van de radartechniek zijn dergelijke trillholtes en de daarin mogelijke trillingswijzen ('cavities' en 'modes' in de ook ten onzent vaak ge(mis)bruikte Engelse vaktaal) veel reëller dan destijds het geval was.) Debye neemt nu verder aan dat voor elke golf alleen de energieën $h\nu$, $2h\nu$, $3h\nu$ enz. mogelijk zijn. Een eenvoudige statistische beschouwing voert tot het resultaat, dat dan bij een temperatuur T de gemiddelde energie van een golf met frequentie ν die we $u(\nu, T)$ zullen noemen, wordt gegeven door

$$u(\nu, T) = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Daarbij is h de constante van Planck ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$) en k de constante van Boltz-

Onder: Tijdens zijn studie in Aken werd natuurlijk het elektrisch-magnetisch spectrum behandeld. Dit is Debye's neerslag ervan, waarbij hij met waterverf de kleurgebieden heeft trachten aan te geven.



mann ($1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$). Het aantal mogelijke trillingen in een kubus met volume V per frequentie-interval $d\nu$ wordt gegeven door de formule

$$\varrho(\nu)d\nu = V \cdot \frac{8\pi\nu^2}{c^3} d\nu$$

c is de lichtsnelheid ($2,9979 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Voor $E(\nu, T)$, de totale energie per frequentie-interval, volgt dan

$$E(\nu, T)d\nu = u(\nu, T) \cdot \varrho(\nu)d\nu = \\ = V \cdot \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

Dit is de wet van Planck. De totale energie vindt men door integratie over alle frequenties. Dit levert

$$U = V \cdot \frac{8\pi^5}{15} \cdot \frac{k^4 T^4}{(hc)^3}$$

Debye in Zürich

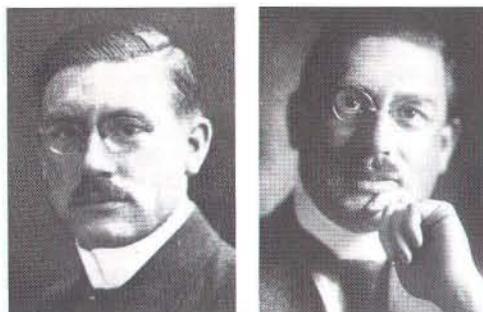
Uit Debye's eerste Zürich-periode stammen twee belangrijke theorieën: de theorie van de soortelijke warmte van vaste stoffen en die van de diëlektrische verschijnselen.

Soortelijke warmte

Debye's theorie van de soortelijke warmte van een vaste stof sluit nauw aan bij zijn afleiding van de Wet van Planck. Debye was er, evenals Einstein vóór hem, van overtuigd dat periodieke bewegingen van atomaire deeltjes even goed gekwantiseerd zouden moeten zijn als elektromagnetische golven. Ook wist hij uit de klassieke mechanica dat iedere beweging van een stelsel elastisch aan elkaar gekoppelde massapunten altijd kan worden opgevat als superpositie van een aantal zgn. normaaltrillingen. Dat zou ook voor de atomen in een kristalrooster moeten gelden.

Nu kan men proberen de normaaltrillingen voor een bepaald kristalmodel werkelijk te berekenen. Dat hebben Born en Kármán, die ongeveer terzelfder tijd aan dit probleem werkten, inderdaad gedaan. De berekeningen worden echter erg ingewikkeld en bovendien wist men toen nog weinig over de werkelijke atomaire bouw van een kristal. Debye koos een veel eenvoudiger weg. Hij veronderstelde dat de normaaltrillingen kunnen worden beschreven als akoestische golven in een elastisch me-

Vier leeftijdsfasen van Peter Debye. Van links naar rechts: als begin dertiger, als midden dertiger, als directeur van het Kaiser Wilhelm Institut für Physik te Berlijn, tijdens zijn verblijf in de Verenigde Staten.



dium. De situatie is nu zeer analoog aan die bij de elektromagnetische straling. Alleen krijgt men nu te maken met de geluidssnelheid in plaats van met de lichtsnelheid.

Toch is er een principieel verschil. Bij de elektromagnetische straling strekt het spectrum zich uit tot in het oneindige. Bij de elastische golven daarentegen moet in elk geval het aantal trillingswijzen gelijk zijn aan het aantal vrijheidsgraden. Voor N atomen zijn dat er $3N$. Er bestaat dus een hoogste frequentie, ν_M . Is weer $\varrho(\nu)d\nu$ het aantal trillingswijzen met frequentie tussen ν en $\nu + d\nu$, dan moet dus gelden

$$\int_0^{\nu_M} \varrho(\nu)d\nu = 3N$$

Voor de totale energie vindt men

$$U = \int_0^{\nu_M} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \cdot \varrho(\nu)d\nu$$

De daaruit afgeleide soortelijke warmte (dU/dT) blijkt uitstekend met experimentele resultaten te kloppen. Voor zeer lage temperaturen, d.w.z. $kT \ll h\nu$ mag men ook wel tot ∞ integreren. Dan wordt U evenredig met T^4 , net zoals bij de straling en is de soortelijke warmte dus evenredig met T^3 . Hoe lager de temperatuur, hoe lager de frequenties die nog mee doen en des te beter de geldigheid van Debye's benadering. In de fysica der lage temperaturen speelde en speelt de Wet van Debye een belangrijke rol.

Ook het probleem van de warmtegeleiding kon nu worden aangepakt. Peierls heeft echter pas meer dan 15 jaar later Debye's eerste aanpak vervolmaakt. Zelf heb ik later nog eens in

detail het reeds door Debye gesignaleerde grensgeval doorgerekend, waarbij de vrije weglenge van de elastische golven groot is vergeleken bij de diameter van de geleider, zodat de warmteverstand uitsluitend toe te schrijven is aan de verstrooiing van de warmtegolven aan de wanden van het kristal.

Diëlektrische verschijnselen

In zijn theorie van de diëlektrische verschijnselen neemt Debye aan, in analogie met wat Langevin al eerder had gedaan in zijn theorie van het paramagnetisme, dat moleculen een elektrisch dipoolmoment kunnen bezitten en verder dat deze molecule kan draaien en zich in de richting van een elektrisch veld kan

Dr. PIET, JOZEF, WILLEM DEBIJE,

door H. M. de Koningin, bij besluit van 3 Febr. 1912, N° 9, benoemd tot gewoon Hoogleraar in de Matematische Natuurkunde en Theoretische Mechanica aan de Rijks-Universiteit te Utrecht, zal op **Maandag den 30^{ste} September 1912, des namiddags te 2 uur**, in het Groot Auditorium zijn ambt aanvaarden met het houden eener redevoering in de Nederlandsche taal, tot bijwoning waarvan alle belangstellenden door Rector en Senaat worden uitgenodigd.

Hierboven de koninklijke benoeming tot hoogleraar te Utrecht en rechts, een van zijn colleges in die plaats.



richten. De warmtebeweging zal er echter naar streven deze oriëntatie ongedaan te maken. Het eindresultaat hiervan is dat een dipoolmoment p in een veld E bij een temperatuur T gemiddeld een waarde van $Ep^2/3kT$ in de veldrichting zal hebben. Indien men experimenteel vindt dat in de diëlektrische constante een bijdrage van de vorm a/T aanwezig is, dan kan men daaruit het dipoolmoment van de moleculen bepalen.

Aan de juistheid van deze theorie kon nauwelijks worden getwijfeld. Wel moeten we bedenken dat het in die tijd helemaal niet zo vanzelfsprekend was dat een molecule een dipoolmoment zou kunnen hebben. Debye besefte heel goed dat metingen van de diëlektriciteits-

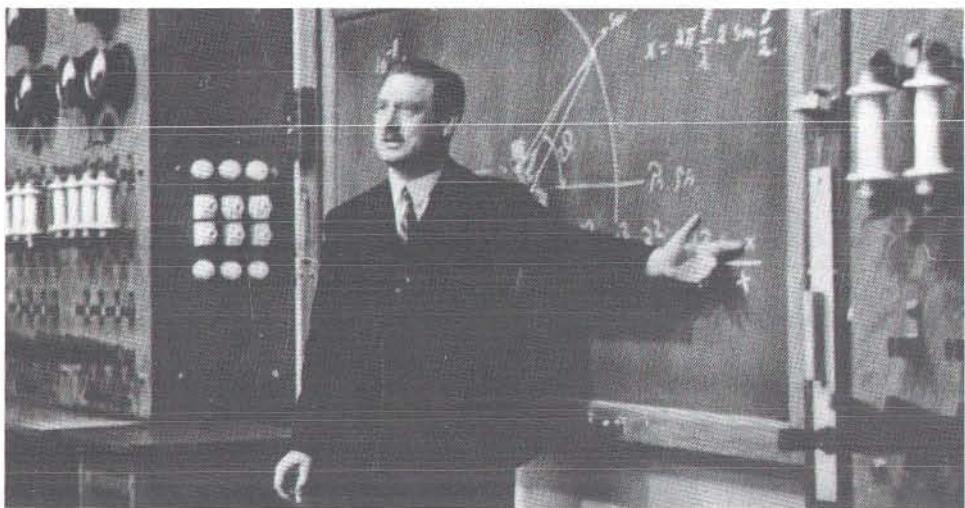
constante een nuttige methode zouden kunnen worden om een belangrijk gegeven over moleculen te verkrijgen; het heeft echter vrij lang geduurd eer zijn verwachtingen in vervulling gingen. Pas in 1929 publiceerde hij zijn samenvattend boek 'Polare Molekeln'.

Vanwaar dit lange uitstel? Omdat men aanvankelijk niet over de technische middelen beschikte om kleine veranderingen van de diëlektriciteitsconstante vlot en nauwkeurig te meten. De situatie veranderde pas toen na de Eerste Wereldoorlog de radiotechniek tot ontwikkeling kwam en ook zijn intrede deed in de researchlaboratoria. Ook in de jaren erna had Debye nog veel problemen met apparatuur en de fabrikanten ervan.

Debye in Utrecht

Twee belangrijke verhandelingen uit Debye's Utrechtse tijd knopen aan bij de zo juist genoemde. De eerste gaat over diëlektriciteit bij hoge frequenties. Debye betoogt dat een dipool een verandering van het elektrisch veld niet meteen kan volgen, maar dat er een relaxatietijd τ bestaat, die hij voor een eenvoudig model ook kan berekenen.

Het resultaat dat hij afleidt geldt echter niet alleen voor dit model. Als het elektrisch veld periodiek met de tijd varieert, $E = |E| \cos \omega t$



Göttingen, den 2. Juli

1918

J.-No. 375

Dear Einstein!

Unter Ihnen ist Ihnen eine Offizie eine Notiz, welche ich mir vorgenommen habe, welche Sie über die Leitung schreiben, da Sie mir ein sehr günstiges Foto erhalten haben und bestimmen mich darüber sehr veranlassen. Daß die Leitung einer ganz bestimmten Zweck dient soll ich unbedingt auf der Fall. Ich glaube es kann der vorliegende Fall, wenn Sie mir die entsprechenden Bilder.

- a) Wenn Sie das Foto befindlich sind, kann Ihnen bestimmt sein, dass Sie zeigen, die ein großes elektrische Anwendungsfoto sind.
- b) Für Ihre weitere experimentelle Erforschung halte ich Ihnen aus dem Foto Untersuchungen beizugeben, experimenteller Mittel, so daß ich Ihnen das Foto nicht benötigen kann.
- c) Sie haben sehr hohe Werte auf mich vorbereitend soll ich Ihnen als Vorbild für Ihre Arbeit und bitte Sie um Untersuchung.

Hoffen Sie nun auf die Leitung abgetrennt habe mit die Kette zwischen Untersuchungen zu beginnen haben, daß ich mich etwas angefordert darf, hier über das sagt mir weiter.

Möglich Untersuchungen mit Röntgenstrahlen gegen die Veränderungen und über die unterschiedliche Art auf die Verschiebung, so wird angekommen, daß die Untersuchung im Allgemeinen die Verschiebung in Beziehung gesetzt die Röntgenstrahlung auf das klassischen Gesetz seiner Angabe. Ich darf Ihnen freilich die Beobachtung im Gebiet der Röntgenstrahlung nicht in die Beobachtung einsetzen in einer Beobachtung der Röntgenstrahlung nach dem gesetzlichen Formular mit Beobachtung.

Bis

Tijdens zijn wetenschappelijke loopbaan correspondeerde Debye veel met collegae. In Göttingen vroeg Debye steun aan Einstein ten bedrage van 16000 mark voor de aanschaf van een röntgeninstallatie. Rechts de eerste en vierde pagina uit die brief. Deze installatie wilde hij gebruiken voor de bepaling van moleculstructuren aan de hand van röntgendiffractiepatronen. Uit de reactie van Einstein citeren we: "Zu warten, bis die Preise günstiger werden, kommt hier m. E. nicht in Frage, weil wir nur einem Debye haben und dessen Lebensdauer < ∞." Onderaan de laatste bladzijde ook nog een reactie van Max Planck.

dan zal de diëlektrische verschuiving in fase achter blijven: $D = |\epsilon| \cdot |E| \cos(\omega t - \delta)$. We schrijven nu $\epsilon' = |\epsilon| \cos \delta$; $\epsilon'' = |\epsilon| \sin \delta$; $\epsilon(0)$ is de diëlektrische constante bij zeer lage frequentie, waarbij de dipolen het veld volledig kunnen volgen en $\epsilon(\infty)$ de diëlektrische constante bij zeer hoge frequentie, waarbij de dipolen volledig zijn uitgeschakeld. Debye vindt dan de formule

$$\epsilon'(\omega) = \epsilon(\infty) + \frac{\epsilon(0) - \epsilon(\infty)}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

$$\epsilon''(\omega) = \frac{\epsilon(0) - \epsilon(\infty)}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

Dergelijke formules gelden voor een grote verscheidenheid van relaxatiescheisen. Ook hier heeft pas de ontwikkeling van de techniek van de hoge frequenties experimenteel werk mogelijk gemaakt.

De tweede Utrechtse verhandeling werd geïnspireerd door de sensationele ontdekking, in München in 1912, van de diffractions van röntgenstralen door kristallen. Von Laue, die dit verschijnsel had voorspeld, had ook een theo-

zu untersuchen für klein und ergänzt werden können. Ich sehe
aber bei Ihnen auf so auf Verständnis und würde mich erlaubt,
wieder auf Vorverständnis freuen, wenn Sie mir das lange würden die
Zeige mit einer guten ergänzen und mich von den Geldorganen zu
befreien

Wet system approach

340

P. Schrey

Heber Holloman

Der Brief spricht für viele selbst. Es glückt, dass wir unser Geld nicht besser verwenden können als darüber, dass wir dafür die von Ihnen genannten Beiträge gegen Erfüllung stellen können und im Interesse, welche es ist, erhalten werden, die Ihre Verteilung werden. Wenn Sie hier zu einem Antrag, nachdem wir eine solche Arbeit haben und deren Bedeutung <<.

Die lange Dolys erinnert allein' Uebergangszeit des Reichstheaters an das alte
theater wie jene Notz Thüringen gegenwärtig zu machen, und das war glücklich. Ihnen
des Monarchen wird' weiterhin nichts geschehen, general alle diese schon verlorenen
Bücher durchaus ausgeschlossen werden. Das heißt, Sie müssen ... gleichsam beladen
jetzt ... mit dem Geschichtsbuch zu veranlassen ... und die Kriegstage bestimmt unverhofft.
Dann sollte ich mir keinen Besitz aufthun, der Sie begleiten, den nicht mir Dolys weiter-
verhelfen kann.

To great Lee Wrightson The

Geobalanus was on the rock bottom below the limestone bedrock, probably

Opus 2, 8-7-18

Misses' Bottom

rie opgesteld waarbij hij had aangenomen, dat de atomen die de röntgenstralen verstrooien op een vaste plaats in een regelmatig kristalrooster zitten. Aan de hand van dit verstrooiingspatroon (diffractie) is de structuur te bepalen.

Debye, aanknopend bij zijn werk over de soortelijke warmte, gaat na hoe de situatie verandert als men rekening houdt met de warmtebeweging. Daarbij legt hij er de nadruk op dat het een groot verschil maakt of men aanneemt dat er een nulpuntsenergie bestaat of niet. Nul-

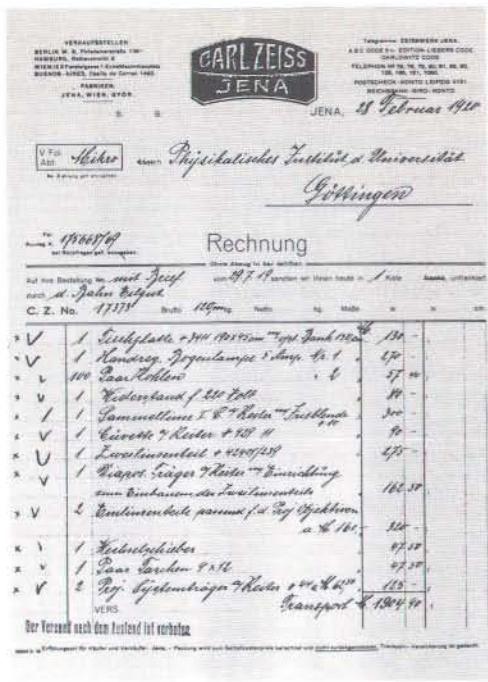
puntsenergie wil zeggen dat men aan een trilling met frequentie ν niet de energieën $0, h\nu, 2h\nu, 3h\nu$ enz. toekent, maar de energieën $\frac{1}{2}h\nu, \frac{3}{2}h\nu, \frac{5}{2}h\nu$ enz.

Het is alweer een voorbeeld dat laat zien dat Debye zijn tijd in vele opzichten ver vooruit was: pas in 1928 leidde een nauwkeurig onderzoek van de intensiteit van röntgendiffractielijnen bij lage temperatuur tot een onweerlegbare bevestiging van het bestaan van de nulpuntsenergie, overigens geheel en al in overeenstemming met de inmiddels geformuleerde nieuwe kwantummechanica.

De Göttinger periode

In 1913 verscheen het eerste artikel van Niels Bohr over het waterstofatoom en het waterstofspectrum. In de daarop volgende jaren dringt men via de bestudering van de atoomspectra steeds dieper door in de theorie van de bouw van het atoom en in de daar geldende mechanica, die radicaal afwijkt van de mechanica die we hebben leren kennen bij grotere afmetingen. In dit verband denkt men in de eerste plaats aan Bohr en zijn school, aan Sommerfeld en zijn school, en wat later ook wel aan Göttingen, in

Van nog grotere invloed was echter het experimentele werk dat hij in deze periode samen met zijn assistent, de Zwitser Paul Scherrer, uitvoerde. Het betrof een nieuwe methode om röntgendiffractie te bestuderen. In de oor-



Deze rekening van de Firma Carl Zeiss te Jena (nu behoort Jena tot de DDR) laat zien dat Deby voor zijn experimenten veel en vaak dure spullen nodig had. Uit andere correspondentie bleek ook dat Debye zeer nauwkeurige instrumenten verlangde. Resultaat was vaak langdurige briefwisselingen met leveranciers die echter geen betere instrumenten konden leveren, omdat de techniek nog niet zo ver was.

spronkelijke proeven van Von Laue, Friedrich en Knipping werd gewerkt met een éénkristal met vaste oriëntatie en met een continu spectrum van röntgenstralen. Daar was dan altijd wel een golflengte bij waarvoor aan de door Von Laue onderkende interferentievoorwaarden werd voldaan.

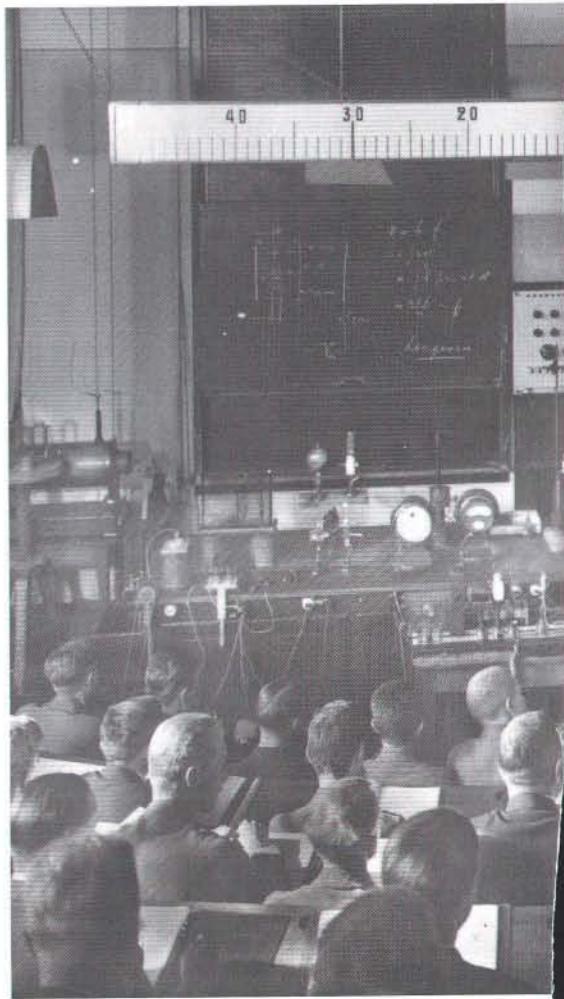
Debye en Scherrer bouwden röntgenbuizen met een anode van koper, waarbij behalve een continu spectrum in het bijzonder röntgenstralen met één bepaalde golflengte werden uitgezonden. Het te onderzoeken preparaat was in de vorm van een poeder. Nu kan men zeggen, dat er bij al die kristalletjes waaruit het poeder bestaat er altijd wel zijn met een oriëntatie waarvoor aan de interferentievoorwaarden wordt voldaan. De methode van Debye en Scherrer was en is nog steeds erg nuttig. Welis-

waar wordt ze tegenwoordig weinig meer gebruikt voor de bepaling van kristalstructuren (de nu nog niet bekende structuren zijn daar te ingewikkeld voor), maar als analytisch hulpmiddel blijft ze waardevol.

Zürich

Theorie van de elektrolyten

De samen met E. Hückel uitgewerkte theorie van de sterke elektrolyten is er weer een typisch voorbeeld van, hoe Debye erin slaagt een op het eerste gezicht vrijwel onhandelbaar probleem zo te vereenvoudigen dat het met betrekkelijk simpele wiskunde kan worden opge-
lossen.



lost terwijl toch de benadering zo goed is dat een bevredigende overeenstemming met het experiment wordt bereikt.

Van 't Hoff en anderen hadden reeds de theorie van verdunde elektrolyten uitgewerkt en de invloed van de ionen op de osmotische druk, de vriespuntsverlaging en de dampdruksverlaging berekend. Daarbij kan men het gedrag van de ionen vergelijken met dat van de moleculen van een ideaal gas. Bij hogere concentraties, bijvoorbeeld bij een geconcentreerde oplossing van keukenzout in water, moet de wisselwerking tussen de ionen in rekening worden gebracht. Dat is in zekere zin moeilijker dan bij het analoge probleem van de toe-

standsvergelijking van gassen (waarmee Debye zich ook wel heeft bezig gehouden), omdat de wisselwerkingskrachten veel langzamer met de afstand afnemen.

Debye en Hückel leiden eerst een vergelijking af, waaraan een (over gebiedjes die groot zijn vergeleken bij de gemiddelde afstand van de ionen) gemiddelde elektrische potentiaal en een evenzo gemiddelde ladingsdichtheid moeten voldoen. Vervolgens passen ze deze theorie toe op de omgeving van één enkel ion. Dit ion wordt dus als puntlading beschouwd, terwijl de gehele omgeving als continuum wordt behandeld. Dat is natuurlijk niet exact juist, maar de resultaten van de op deze wijze uitge-



Boven: Debye tijdens een van zijn colleges in de Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) te Zürich. In deze tijd stelt hij zijn theorieën op over de elektrolyten en de adiabatische demagnetisatie.

Links: Een kijkje in een van de oude collegezalen van de ETH in Zürich in de jaren twintig. De (experimenteer)omstandigheden waren misschien niet optimaal, maar sfeervol was het wel.



men een temperatuur ver onder de 1 K zou moeten kunnen bereiken.

Pas in het voorjaar van 1933 werd dit gerea-
liseerd, enerzijds door Giauque in Californië,
die onafhankelijk van Debye op hetzelfde
denkbeeld was gekomen, anderzijds door De
Haas, Wiersma en Kramers in Leiden.

Debye heeft zich ook later, in Leipzig en in
Berlijn, met de problematiek van de adiabati-
sche demagnetisatie bezig gehouden, maar
heeft voor mijn gevoel bij de verdere ontwik-
keling van deze tak van onderzoek toch geen
overwegende rol gespeeld.

De golfmechanica

Terwijl Debye in Zürich was schiep Schrö-
dinger, hoogleraar aan de universiteit, zijn
golfmechanica. Debye heeft daar zeker in-
vloed op uitgeoefend. Men vertelt dat hij het
is geweest die Schrödinger er toe heeft aange-
zet op het fysisch colloquium een voordracht
over de beschouwingen van De Broglie te hou-
den en dat dit het uitgangspunt van Schrödin-
gers werk is geweest.

Debye zag ook duidelijk dat de verhouding
van klassieke mechanica en golfmechanica

voerde berekeningen blijken goed met het ex-
periment te kloppen. De theorie van Debye en
Hückel is later op velerlei wijze aangevuld en
verbeterd, maar behoort nog steeds tot het
standaardarsenaal van de fysisch-chemicus.
Men zou haar positie ten opzichte van de
elektrolyt-oplossingen kunnen vergelijken met
die van de toestandsvergelijking van Van der
Waals ten opzichte van gassen en vloeistoffen.

Adiabatische demagnetisatie

Uit de Zürich-tijd stamt ook zijn voorstel de
adiabatische demagnetisatie van paramagneti-
sche stoffen te gebruiken om zeer lage tempe-
raturen te bereiken. Uitgaande van resultaten
van Kamerlingh Onnes betreffende het para-
magnetisme van gadoliniumsulfaat en de theo-
retische verklaring daarvan, kon hij voorreke-
nen dat als men dit zout bij vloeibare-helium-
temperatuur, bijvoorbeeld bij 1,2 K, zou mag-
netiseren in een veld van enige tesla, het dan
thermisch van zijn omgeving zou isoleren en
vervolgens het magneetveld zou uitschakelen,



Linksboven: De gevel van het Max Planck Institut te Ber-
lijn, waar Debye in de jaren 1934-1940 directeur was (toen
heette het Kaiser Wilhelm Institut). Op de rechterpu naast
de voordeur zit het huisnummer dat op de pagina's
930-931 van dichtbij te zien is.

Boven: Debye bewoonde tijdens zijn directoraat dit huis
dat achter het gebouw op de foto rechts ligt.

Rechts: De zuidgevel van het Max Planck Institut met
rechts op de foto het typische koepeltje dat nog net op de
foto linksboven te zien is.

analog is aan de verhouding van geometrische optica en fysische optica. Daarbij kon hij terugrijpen op werk uit zijn 'elektromagnetische tijd'. Hij heeft zich verder slechts in beperkte mate met de kwantummechanica bezig gehouden. Als hij zijn oude mathematische virtuositeit in de strijd had geworpen, zou hij ongetwijfeld een groot aantal toepassingen van de golfmechanica hebben kunnen uitwerken, maar daar had hij blijkbaar geen zin in.

Leipzig, Berlijn, Cornell

Over zijn werk in Leipzig en Berlijn kan ik niet zoveel zeggen. Publikaties uit deze jaren gaan voor een groot gedeelte over een nadere uitwerking van vroegere onderzoeken, onder andere op het gebied van de diëlektrica, de elektrolyten en de adiabatische demagnetisatie. Veel aandacht besteedt hij aan de toepassing van röntgendiffractie op het onderzoek van gassen en vloeistoffen en vooral ook voor het bepalen van afmetingen van moleculen. Wat dit laatste betreft is Debye ongetwijfeld een pionier geweest. Zijn methode kwam echter pas goed tot haar recht toen men in plaats van röntgenstralen elektronenstralen ging ge-

bruiken. Enigszins op zich zelf staat een zeer elegant onderzoek over de strooiling van licht aan supersonische golven in vloeistoffen.

In januari 1940 weet Debye nog juist op tijd Duitsland te verlaten. In Amerika wordt hij met open armen ontvangen. De onderzoeken die daar door hemzelf en een aantal medewerkers worden uitgevoerd hebben in hoofdzaak betrekking op polymeren; de gevuldde methodiek sluit aan bij vroeger werk. Hij onderzoekt de strooiling van straling in het algemeen en van licht in het bijzonder en weet daaruit verrassend veel gegevens te halen. Tot het eind van zijn leven is hij actief gebleven.

Zijn werk en zijn persoonlijkheid

Aan erkenning heeft het Debye niet ontbroken. Zijn resultaten verdienend dat ten volle en daar kwam nog bij, dat hij ze op ongemeen duidelijke wijze wist uiteen te zetten, waardoor ze voor een grote kring van vakgenoten begrijpelijk en nuttig werden. Talrijke eredocraten, medailles, erelidmaatschappen van academies en andere lichamen en in 1936 de Nobelprijs voor scheikunde getuigen van de waardering die men allervelen voor hem had.



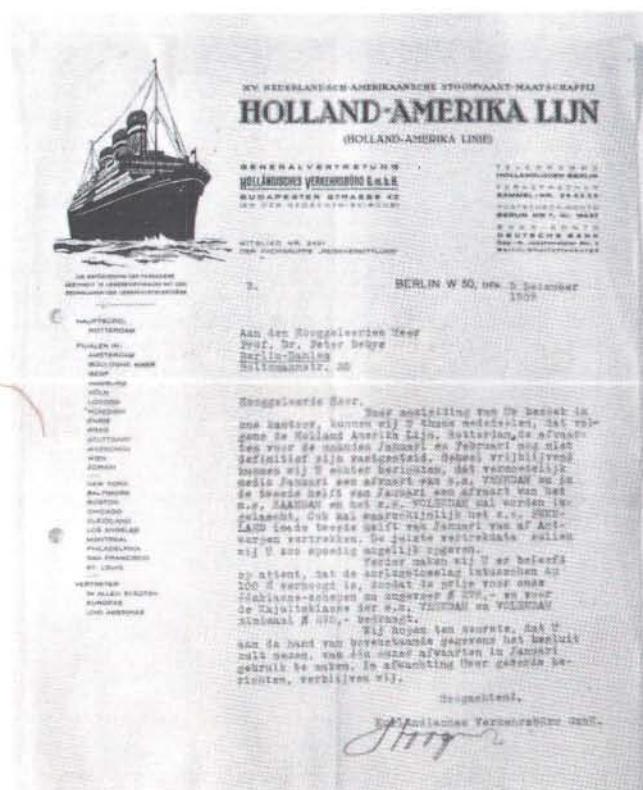
Wanneer we nu het geheel van zijn oeuvre in ogen schouw nemen dan valt op, dat slechts een gering aantal verhandelingen betrekking heeft op de grondbeginselen van de natuurkunde. In dat opzicht was hij geen vernieuwer als Einstein, Bohr, of Heisenberg: hij heeft geen filosofisch nieuwe denkbeelden aan de fysica toegevoegd. Ook legde hij zich niet toe op zeer nauwkeurige analyse van bestaande theorieën. Uit enkele uitleggingen zou men zelfs op kunnen maken dat bijvoorbeeld de zeer zorgvuldige en uitvoerige uiteenraffeling door Ehrenfest van de gedachten en hypotheses die aan Boltzmann's statistische mechanica ten grondslag liggen, hem lichtelijk irriteerde.

Evenmin krijgt men uit zijn werk de indruk van een voortdurende worsteling met onoplosbare problemen. Men zou hem onrecht doen door te zeggen dat hij moeilijkheden uit de weg ging, maar wel wist hij met een bijzonder gelukkige hand, of misschien beter, met een geniale greep, problemen aan te pakken, waar-

voor hij oplossingen wist te vinden, die in de praktijk bruikbaar waren. Juist daardoor heeft hij als natuurkundige aan de scheikunde onschatbare diensten bewezen. Vaak lukte het hem zelfs tot een verrassend eenvoudige oplossing te komen. De uitspraak "Aber das ist doch ganz einfach" was karakteristiek voor zijn discussies bij colloquia.

Misschien lag het ook wel in zijn aard zich niet al te veel zorgen te maken over problemen waar hij voorlopig geen gat in zag. Iets dergelijks gold namelijk ook in zijn persoonlijke leven. Interessant is in dit verband de aan hem toegeschreven opmerking: "Elektronen in de atoomkern? Dat is net zoets als de nieuwe belastingen; je kunt er beter niet over denken."

Wie Debye persoonlijk wat nader heeft leren kennen herinnert zich zijn hartelijkheid, zijn gevoel voor humor, zijn menselijke belangstelling. Maar hij wond zich niet op over zaken waar hij toch niets aan kon doen. Hij was geen kruisriddler die ten strijde trok tegen het on-



Links: Toen Debye al in 1936 de Nobelprijs kreeg, trachtte men hem te verleiden Duits staatsburger te worden, iets dat de nazi-machthebbers goed van pas zou zijn gekomen. Debye weigerde continu hierop in te gaan en nam in januari 1940 de wijk naar Amerika. Deze offerte van de Holland-Amerika-lijn is gedateerd op 9 december 1939; daaruit blijkt al de oorlogs dreiging, omdat men de prijzen verdubbelt.

Rechtsboven: Debye wist zich altijd te ommringen met een goede staf van medewerkers. Deze foto werd genomen in 1938 te Berlijn en opmerkelijk is de aanwezigheid van Van der Grinten (rechts, onderste rij), Frank (4e van links, middelste rij), Haber (rechts, bovenste rij).



recht. Nog minder was hij een Don Quichotte die een gevecht aanbond met windmolens. Als Nederlands staatsburger voelde hij zich niet verantwoordelijk voor excessen van het Duitse leger in de Eerste Wereldoorlog en evenmin voor de veel ernstiger excessen van de nationaal-socialisten. Zolang hij voor zichzelf en zijn naaste medewerkers gunstige werkomstandigheden wist te bedingen (en daarin was hij een meester), kon hij blijkbaar in alle gemoedsrust in Duitsland blijven.

Principieel ingestelde Noord-Nederlanders zullen dit mogelijk als laakbaar opportunisme beschouwen, maar laat ons niet vergeten dat juist deze levenshouding niet alleen zijn schijnbaar moeteeloze, maar toch zo omvangrijke en indrukwekkende wetenschappelijke activiteit mogelijk maakte, maar ook ten grondslag lag aan zijn kenmerkende fascinerende charme.

Debye was een gelukkig mens. Soms kreeg je de indruk dat hij ook een geluksvogel was! Kort na de Tweede Wereldoorlog haalde ik hem af uit Brussel met de auto. De grenscontrole was in die tijd nogal streng. Zowel de Belgische grenspost als de Nederlandse, ze lagen toen nog enige honderden meters uit elkaar, konden lastig zijn. Ik had de indruk dat Debye daar wat tegenop zag. Nu werd juist op die dag een voetbalwedstrijd België-Nederland gespeeld. Vlak voor we bij de Belgische grenspost kwamen maakten de Belgen een doelpunt, 1-0. De douaniers wilden geen ogenblik van de radioreportage missen. "Rijd maar door, stumpers", zeiden ze, "jullie hebt toch niets in te brengen". Op het ogenblik dat we de Nederlandse post bereikten maakten de Nederlanders de gelijkmaker. Juichend lieten ze ons doorrijden. Debye genoot.

Bronvermelding illustraties

J.A.B. Verduin, Maastricht/Natuur en Techniek, Maastricht: pag. 924.

Bibliothek und Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft, Berlijn: pag. 924-925, 925, 928 links, 929 links, 930-931, 932 links, 936, 937.

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek, Göttingen: pag. 928.

Jac. P. Stolp (foto)/Universiteitsmuseum, Utrecht: pag. 928 onder, 929 rechts en onder.

Wissenschaftshistorische Dienst, ETH, Zürich, pag. 932-933, 933.

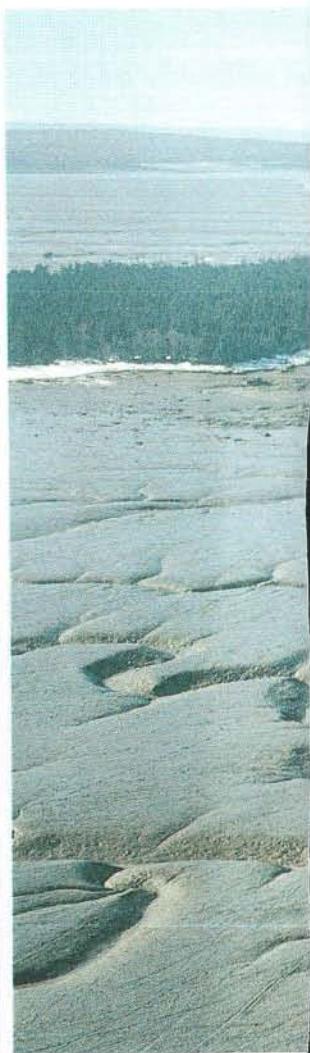
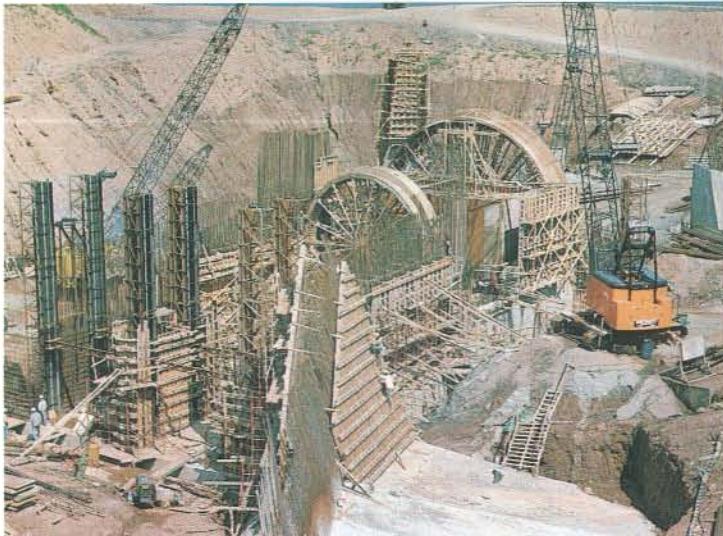
De overige opnamen werden gemaakt door J.A.B. Verduin, Natuur en Techniek. Dank is verschuldigd aan dr. Eckart Henning en mevr. dr. Marion Kazemi van de Bibliothek und Archiv zur Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft Berlijn, voor hun toestemming en hulp bij de illustreresearch.

WISSEL STROOM UIT TIJ STROOM

De Fundybaai aan de Canadese oostkust heeft het grootste getijverschil ter wereld: in het Minasbekken in de kop van de baai bijvoorbeeld kan het verschil tussen laag- en hoogwater meer dan 15 meter bedragen. Het plan om deze getijbewegingen om te zetten in elektrische energie heeft

een aantal vragen opgeworpen over de milieu-effecten van een getijcentrale. Dit heeft de aanzet gegeven tot fundamenteel onderzoek dat duidelijkheid heeft verschafft over de betekenis van de getijden voor de algemene oceanologie van het gebied. Dit artikel handelt over dit onderzoeksproces.

Milieu-effecten alternatieve energiebron



Christopher Garrett
*Department of Oceanography
Dalhousie University
Halifax, Nova Scotia, Canada*



Links: De bouwput in de Fundybaai waar de proefcentrale van Annapolis Royal werd gebouwd in 1981. Deze centrale is dit jaar voltooid.

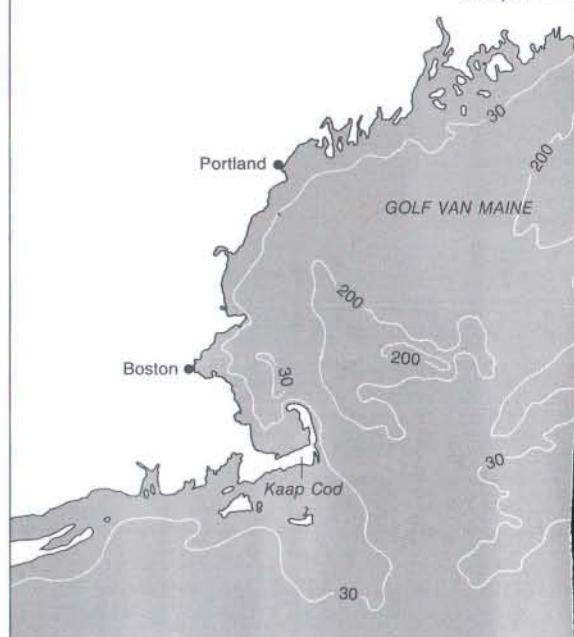
Boven: Het getijverschil in de Fundybaai is zo groot dat bij eb grote gedeelten droogvallen, net als in de Waddenzee.

De plaats in de Fundybaai waar de meeste energie kan worden opgewekt is lokatie B9 (zie fig. 1). Op deze plaats kan circa 5000 MW vermogen geïnstalleerd worden. Gezien de tijdsafhankelijkheid van het opwekkingsproces (bij een eenzijdig werkend enkelvoudig bekken-systeem is de elektriciteitsproductie immers alleen over een gedeelte van de periode rendabel) zou het gemiddelde vermogen ongeveer 35 procent hiervan bedragen. Hiervoor zouden 128 turbines nodig zijn van een type dat binnenkort zal worden getest in een proefinstallatie in Annapolis Royal, die sinds kort klaar is (zie fig. 1).

Men verwacht van het Annapolis-project geen noemenswaardige milieu-effecten, behal-



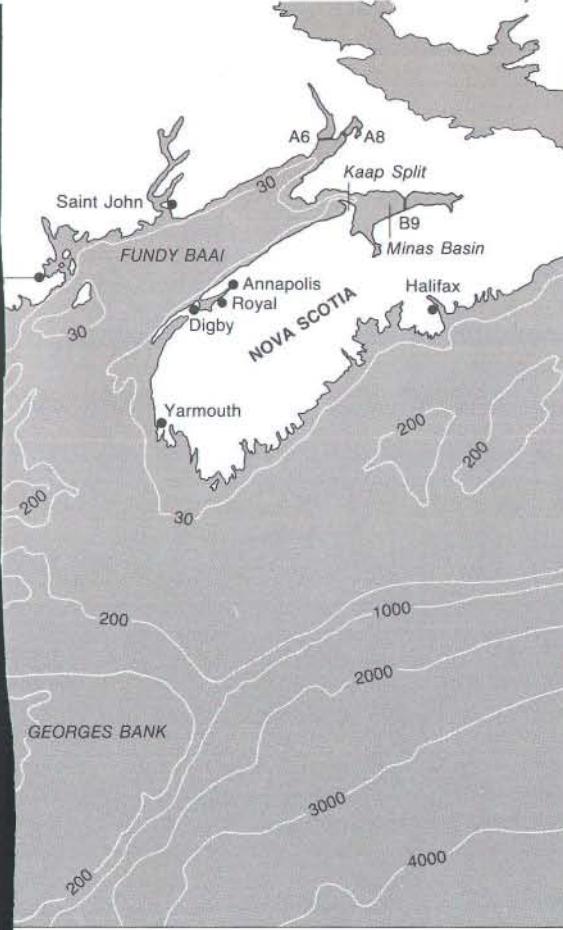
Eastport



ve misschien in het spaarbekken achter de installatie. Door het wegvalLEN van het lage gedeelte van de getijcyclus (zie fig. 2) komt de afwatering van het omringende bouwland mogelijk in gevaar, waardoor verzilting kan plaatsvinden.

Een project van deze omvang, met een gepland vermogen dat ruim 20 keer zo groot is als de 240 MW van de getijcentrale in de monding van de Rance (Frankrijk), zou wel eens veel grotere gevolgen kunnen hebben dan het Annapolis-project. De kernvraag is of de getijden aan de zeezijde van de afsluiting door deze laatste worden beïnvloed. Van het antwoord zal uiteraard afhangen hoe het ontwerp eruit zal gaan zien, of het project economisch haalbaar is en wat de eventuele gevolgen voor het milieu zijn.

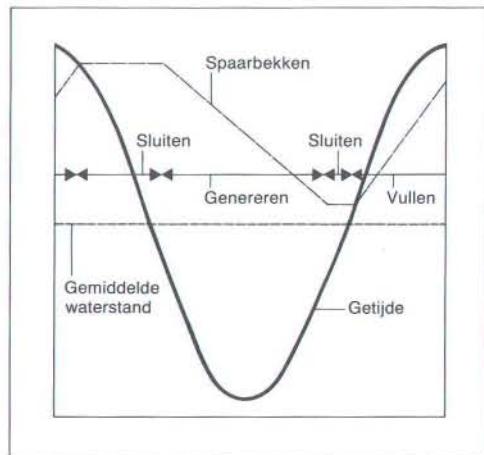
Om voorspellingen te kunnen doen over veranderingen in de getijden in een bepaald gebied als gevolg van een grote technische constructie, zal een model moeten worden ont-



Geheel links onder: De getijdecentrale in de monding van de Rance bij St. Malo in Frankrijk.

Links: Fig. 1. De Fundybaai en de Golf van Maine met dieptelijnen. A6, A8 en B9 zijn geschikte plaatsen voor de opwekking van getijdenenergie.

Onder: Fig. 2. Een schema van de waterstanden tijdens één getijcyclus voor een bij eb werkende centrale. Volgende energie-opwekking vindt alleen plaats als het vererval groot genoeg is.



wikkeld; bijvoorbeeld een hydraulisch schaalmodel waarbij het gebied en de geplande installatie op verkleinde schaal in beton en ander materiaal worden nagebouwd. De laatste tien, twintig jaar zijn hydraulische schaalmodellen vervangen door numerieke modellen waarbij de natuurkundige wetten die aan het gedrag van vloeistoffen ten grondslag liggen in een door de computer verwerkbaar vorm worden gegoten.

In beide gevallen is het soms moeilijk een juiste voorstelling te krijgen van bepaalde effecten, zoals bijvoorbeeld van lokale turbulenties. Een essentieler probleem echter is de vraag hoe groot het te modelleren gebied moet zijn en welke randvoorwaarden voor de zeezijde van het model moeten gelden. Vaak worden deze problemen opgelost op een manier die de modelmaker het beste uitkomt. Niet altijd is dat wetenschappelijk verantwoord. De modelomvang wordt namelijk zo gekozen dat hij rekening houdend met de vereiste nauwkeurig-

heid, geschikt is voor de beschikbare ruimte of computer en aangenomen wordt dat het getijverschil aan de zeezijde niet door de te bouwen constructies wordt beïnvloed. Het model kan zodanig worden gemaakt dat de natuurlijke getijden aan de kust worden nagebootst, waarna met de geplande constructies op hun plaats en met dezelfde input opnieuw een computerrun kan worden uitgevoerd om de veranderingen in de getijverschillen en -stromen binnen het modelgebied te voorspellen.

Deze benadering is principieel onjuist. Als wij bedenken dat de getijden in een baai, zoals de Fundybaai, bestaan uit een binnenvkomende en een teruggekaatste golf, dan wordt de teruggekaatste golf door een gedeeltelijke afsluiting, zoals een getijcentrale, gewijzigd. Deze verandert op haar beurt de getijden aan de zeezijde van het model. Wij komen hier later nog op terug. Het onderzoek van dit probleem in het geval van de Fundybaai is gebaat met een beter begrip van het natuurlijk getijpatroon.

Het natuurlijke getijpatroon

Voor de grote getijverschillen in de Fundybaai is een aantal verklaringen gegeven. De aardigste vind ik die uit een voor toeristen bestemde brochure van de stad Saint John (New Brunswick), die stelt dat:

“Deze getijverschillen worden veroorzaakt door een combinatie van twee factoren: ten eerste, de afstand van de maan tot de aarde op deze meridiaan; ten tweede het feit dat de opening van de baai op het zuiden ligt, waardoor de getijstromen die in de Indische Oceaan ontstaan, in hun volle sterkte de baai binnenlopen.”

Waarschijnlijker is de theorie die thans algemeen ingang heeft gevonden, die uitgaat van twee heel andere factoren:

- De Fundybaai maakt deel uit van een systeem dat ook de aangrenzende Golf van Maine omvat, en
- De eigen periode van dit systeem zit dicht tegen resonantie aan met de dubbeldagaagse (tweemaal per dag) getijkrachten van de Noordatlantische Oceaan.

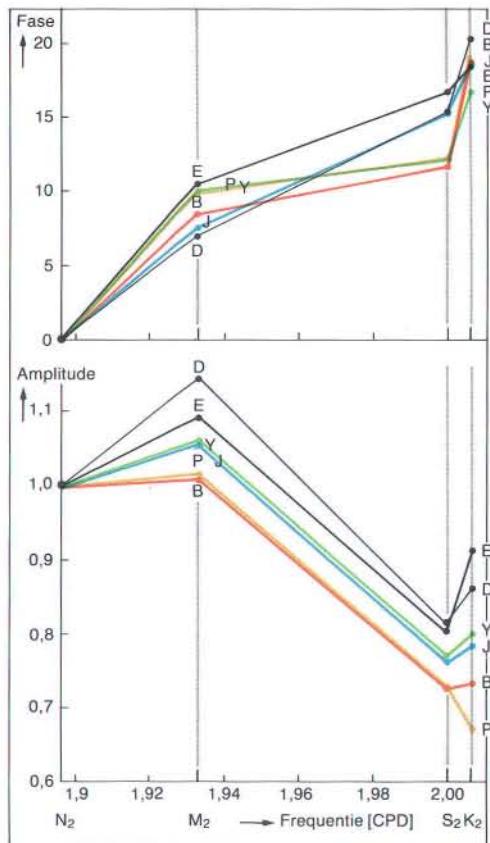
Het bewijs voor deze theorie werd geleverd door de getijden in verschillende havens in het gebied te beschouwen als een functie van een aantal getijcomponenten (zie fig. 3). Men heeft zich daarbij gebaseerd op het feit dat de oceaan aan verschillende getijkrachten blootstaat die verschillen in frequenties. Deze getijcomponenten zijn meestal enkeldaags of dubbeldagaags; de belangrijkste dubbeldagaagse getijden zijn het maansgetij M_2 (met een periode van 12,4 uur) en het zonsgetij S_2 (met een periode van 12,0 uur). N_2 is een maancomponent die samen met M_2 de veranderingen van de getijkrachten bepalen die in verband staan met de elliptische baan van de maan om de aarde. K_2 is een kleinere component waarvan de krachten zowel M_2 als S_2 beïnvloeden, overeenkomstig de veranderende hoek die zon en maan met de aarde maken. De getijden zijn dus het resultaat van al deze getijcomponenten met hun verschillende frequenties.

De getijden van verschillende havens aan de Fundybaai en de Golf van Maine zijn gelijk, zoals fig. 3 toont, maar ze verschillen aanzienlijk van die op de Atlantische Oceaan, zoals in

Rechtsboven: Fig. 3. De fasevertraging (boven) van de getijden van Yarmouth (Y), Digby (D), Saint John (J), Eastport (E), Portland (P) en Boston (B) ten opzichte van Hali-

fax. Daaronder de versterking van de getijdebeweging door de vier getijdecomponenten. N_2 is genormaliseerd, dus gelijkgesteld aan de waarde 1.



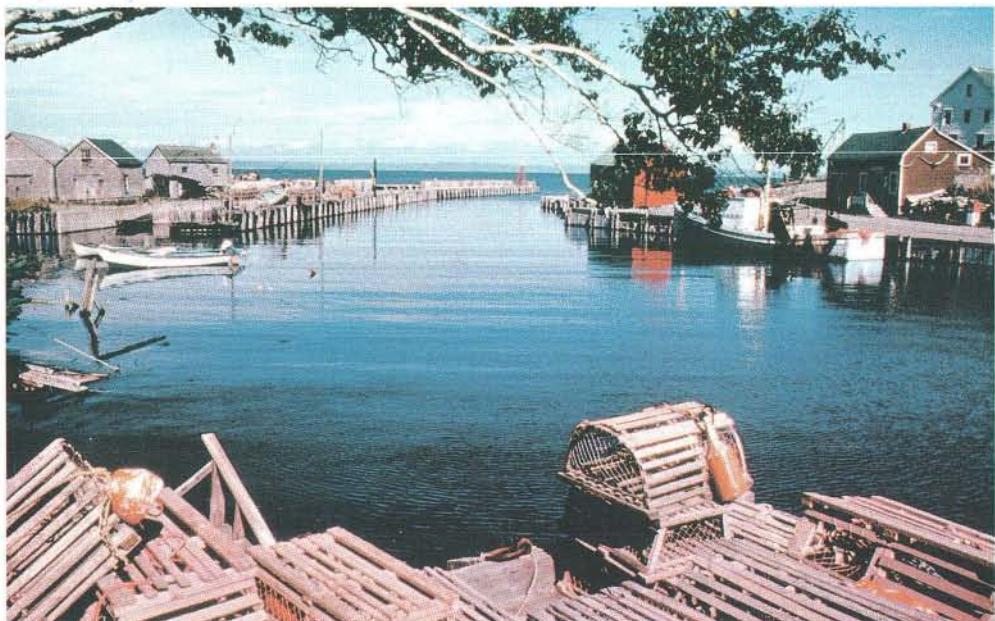


Halifax. Dit leidde tot de eerste van de hierboven genoemde factoren. Bovendien doen de piek in de curve en de met de frequentie toenemende faseverschuiving denken aan het gedrag van een enkelvoudige gedempte harmonische slinger die tegen resonantie aanzit. De grafiek is echter niet gemakkelijk te interpreteren door het feit dat de bodemwrijving in combinatie met turbulente getijstromen evenredig is met het kwadraat van de stroom en niet lineair is.

Een interessant gevolg hiervan is dat in de Fundybaai en de Golf van Maine, waar de getijden door één component (M_2) worden overheerst, de kleinere componenten (N_2 , S_2 , K_2 enz.) 50 procent meer wrijving ondervinden dan de dominerende component. Men zou dit kunnen zien als de wiskundige verklaring van de tendens naar grotere wrijving bij springtij.

Door bij interpretatie van de gegevens in fig. 3 rekening te houden met dit niet-lineaire aspect van het systeem, komen wij tot de tweede bovenstaande factor, waarbij de eigen periode van de Fundybaai en de Golf van Maine ongeveer 13,3 uur blijkt te zijn. De resonantie met de dubbeldagse getijkrachten van de

Links onder en onder: Eb en vloed bij Hall's Harbour, Nova Scotia, aan de Fundybaai. Het verschil tussen eb en vloed is opvallend.



Noordatlantische Oceaan is gelijk aan die van een kwart golflengte van een open orgelpijp, waarbij de opening van de pijp overeenkomt met de rand van het continentaal plat (waar de diepte snel toeneemt van minder dan 200 m tot meer dan 3 km) en niet zozeer met de monding van de Fundybaai.

De grote getijverschillen in de Fundybaai kunnen dus worden toegeschreven aan het feit dat de belangrijkste getijperiode van 12,4 uur zo goed als samenvalt met de eigen periode van iets meer dan 13 uur, hoewel de geometrie van de Fundybaai ook nog een rol speelt. Ruw geschat zou een rechthoekige baai met verder dezelfde eigenschappen als de Fundybaai van de rand van het continentaal plat tot in de kop van de baai een versterking met een factor van ongeveer 5 opleveren. vergeleken met een waargenomen factor 12 kan aan de geometrie van het huidige systeem dus een factor van ongeveer 2,5 worden toegekend.

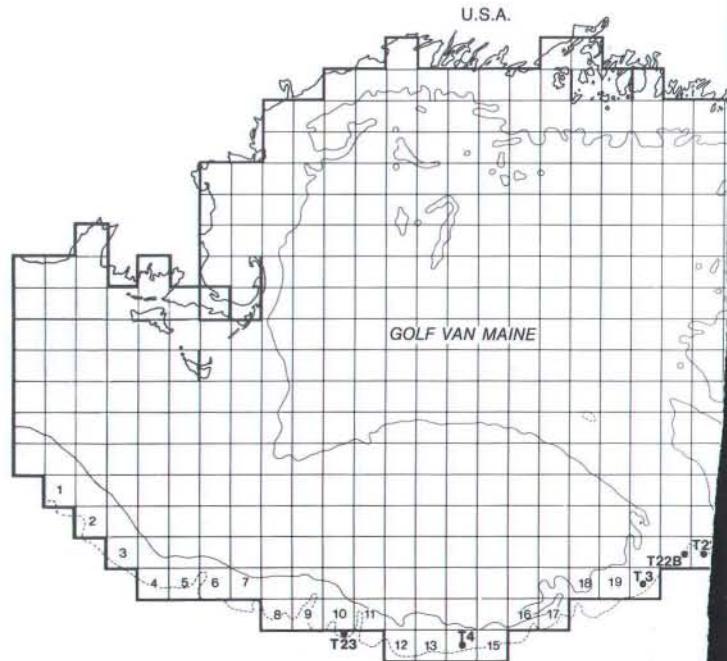
Het watervolume dat de getijden verplaatsen is enorm; bij vloed bedraagt de stroming over de rand van het continentaal plat vanaf de Atlantische Oceaan tot in de Golf van Maine en de Fundybaai ongeveer $25 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, wat vergelijkbaar is met de stroming van de golfstroom.

Veranderingen in de getijden

Deze interpretatie van het natuurlijke getijpatroon heeft twee directe gevolgen voor grootschalige opwekking van getijdenenergie. In de eerste plaats zou een dam in het bovenste gedeelte van de baai deze verkorten, waardoor de eigen periode zou worden gereduceerd. De resonantie en de getijverschillen zouden als gevolg daarvan toenemen. In de tweede plaats zouden deze veranderingen, zowel in de Golf van Maine als in de Fundybaai, merkbaar zijn.

Eerdere schaalproeven wezen uit dat als gevolg van een verandering van het normale getijpatroon de getij-amplitudes bij een dam in het bovenste gedeelte van de baai iets zouden afnemen en elders zouden toenemen. Gedetailleerde voorspellingen daarover kunnen worden ontleend aan het door David Greenberg uitgewerkte numerieke model van het systeem (zie fig. 4). In dit model is ook de Golf van Maine betrokken. De hoogte van het getij aan de zeezijde werd zodanig gekozen dat de getijden aan de kust op de juiste wijze werden nagebootst. Later verschafte een offshore-meetprogramma nauwkeurige waarden die in sommige opzichten van de aanvankelijk gekozen waarden verschilden en enige aanpassing

Rechts: Fig. 4. Het gebied van Greenberg's model van de getijden in de Fundybaai en de Golf van Maine. De punten geven de plaats aan van op de zeebodem geplaatste drukmeters die de open randvoorwaarden voor het model moeten leveren.



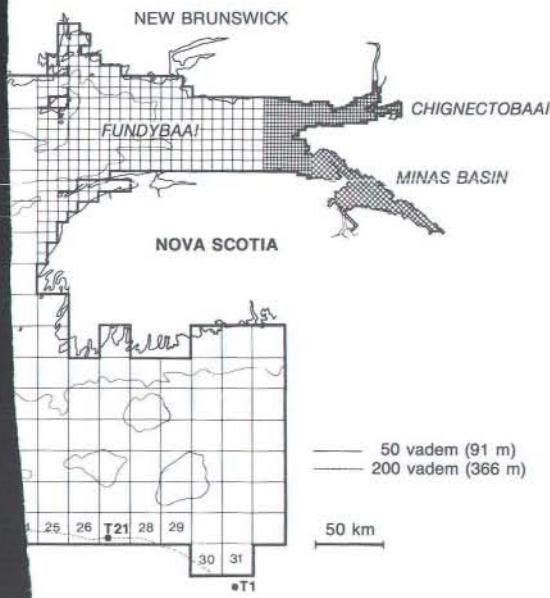
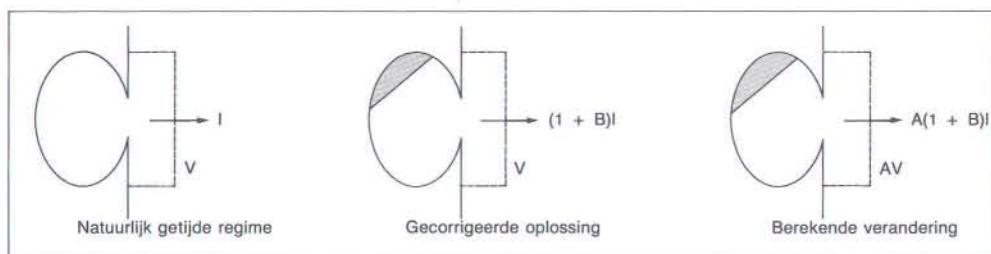
van Greenberg's model noodzakelijk maakten om in de pas te blijven met de aan de kust geregistreerde getijden.

Veranderingen in het getijregime als gevolg van een getijcentrale werden daarmee voorspeld door de werking van een getijcentrale als een randvoorwaarde in het bovenste gedeelte van de baai te simuleren, waarbij aan de open zeezijde wel de oorspronkelijke getijniveaus als randvoorwaarden werden aangehouden.

Voor dat we de voorspelde veranderingen beschrijven is het nodig deze open randvoorraarde te rechtvaardigen, ook al is deze hierboven eerst verworpen omdat de teruggekaatste golf niet ingecalculeerd was. Een gedetailleerde studie, waarbij rekening gehouden is

met de ruimtelijke variatie langs de zeezijde van het systeem, is in het diagram van fig. 5 samengevat. Een schommelend zeeniveau V aan de open zeezijde van het systeem leidt tot een wisselende stroom I in de baai. Deze stroom I heeft een andere fase als het schommelend zeeniveau en kan berekend worden als I beschouwd wordt als een complex getal. Een herberekening van deze waarden nadat een getijcentrale of andere technische constructie in de baai is gebouwd levert een stroom $(I + B)$ bij gelijkblijvende V op (zie fig. 5).

Het voorbeeld is zo gekozen om de overeenkomst met elektrische verschijnselen te illustreren; de baai is dan een elektrisch apparaat dat een stroom I bij een spanning V ont-

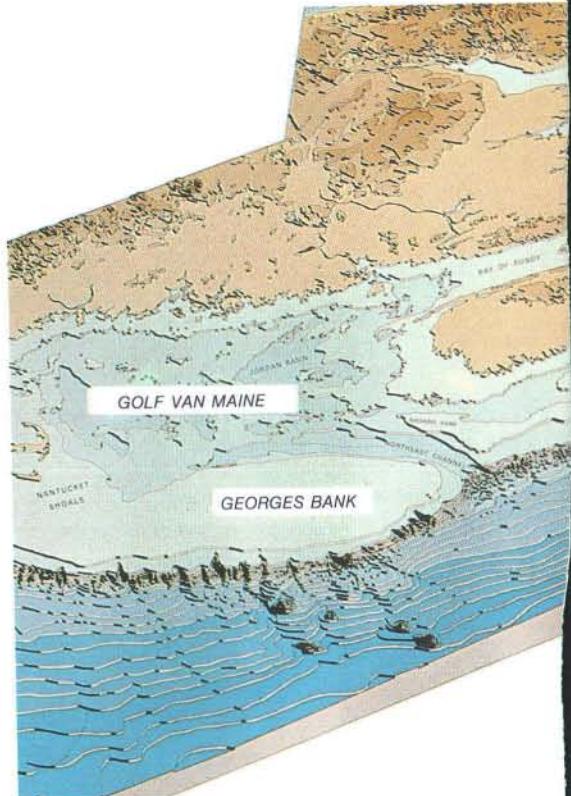
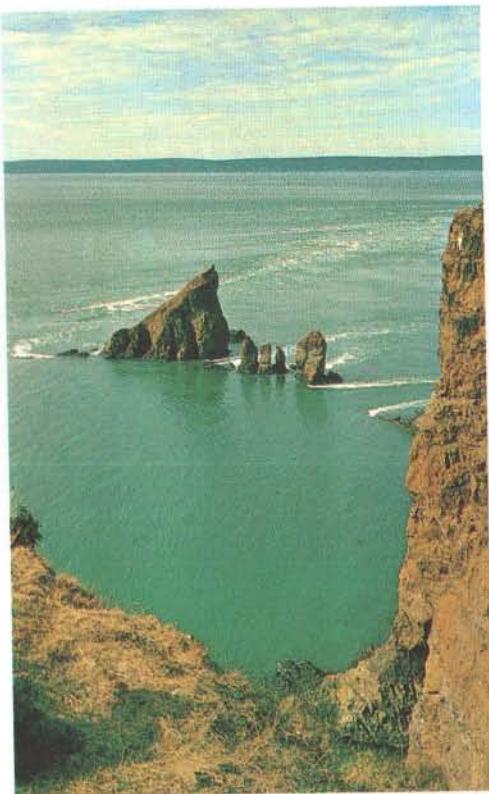


Boven: Fig. 5. Een schematische weergave van de toepassing van een numeriek model bij het voorspellen van veranderingen in het getijregime als gevolg van een grote technische constructie.

trekt. Deze spanning kan echter afnemen als het apparaat zo wordt aangepast dat het meer stroom onttrekt, waarbij de afname in verhouding staat tot de uitgangsweerstand van de krachtbron. In dit geval komt het onttrekken van een grotere stroom δI van de Atlantische Oceaan erop neer dat de getijhoogte aldaar verandert overeenkomstig de vergelijking $\delta V = -Z_0 \cdot \delta I$, waarbij Z_0 de uitgangsweerstand van de Atlantische Oceaan voorstelt. Zoals fig. 5 hierboven laat zien, levert dit een nieuwe formule op die er als volgt uitziet:

$$(A - 1)V = -Z_0 [A(1 + B) - 1] I \\ \text{zodat}$$

$$A = (1 + R)(1 + R + BR) - 1; R = Z_0 I / V$$

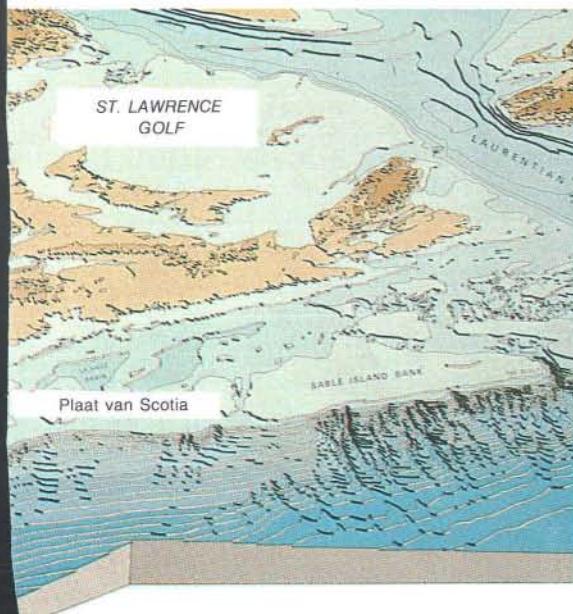


Hieruit blijkt het belang van de parameter $R = Z_0 I / V$, waarbij I en V uit het model bekend zijn. Aan de hand van de getijden in de oceaan kan Z_0 berekend worden. Ramingen van Z_0 leverden een kleine waarde op voor R – circa 0,2 – zodat voorspellingen verkregen bij constante V iets moesten worden gecorrigeerd en enkele onzekerheidsmarges ontstonden. Na zorgvuldige metingen blijkt dat het nauwkeuriger en dus beter is in dit geval, V constant te houden in plaats van het andere uiterste, namelijk een constante I .

De voornaamste reden voor deze uitkomst is dat Z_0 globaal omgekeerd evenredig is met de diepte van de oceaan, waaruit blijkt dat de rand van het continentaal plat als open zijde van het model genomen moet worden. Het getij is daar weliswaar veranderd, maar slechts in geringe mate.

Uit de eenvoudige modellen van de getijden van de Noordatlantische Oceaan die bij de ramingen van Z_0 werden gebruikt, bleek overi-





Geheel linksboven: De binnenkomende vloedstroom bij Kaap Split.

Linksonder: Na twee maanden wordt de bodemdrukregistratiemeter (de kleine grijze cilinder) met de radiozender en de akoestisch inschakelbare ontspanner (geel) van de zeebodem opgehaald.



Linksboven: Een topografische kaart van de Canadese oostkust. Aan de rand van het continentale plaat neemt de diepte snel toe.

Boven: De installatie van de verdeler die het instromende water controleert. De constructie weegt 225 ton en is 14 m in diameter.

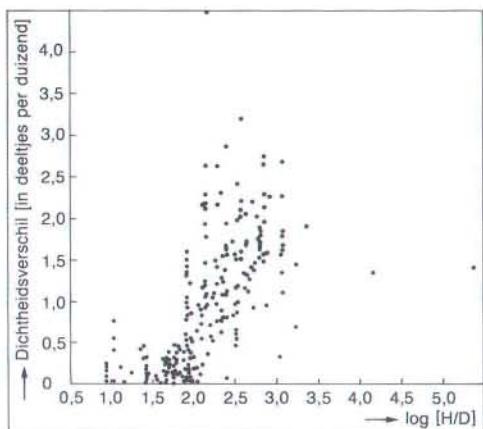
gens ook dat een grote getijcentrale in de Fundybaai veranderingen van enkele millimeters in de getijden rond Engeland tot gevolg kan hebben.

Op bijzonderheden van de voorspelde wijzigingen in het getijregime wordt nader ingegaan door Greenberg. In ontwerp B 9 neemt het watervolume dat verplaatst wordt toe met 5 procent. Dit komt doordat het systeem dichter tegen resonantie aankomt. Van een gelijke verdeling van deze toename is echter geen sprake. Er doet zich namelijk een kleine daling van het getijverschil voor bij de dam, maar in het onderste gedeelte van de Fundybaai en in de Golf van Maine neemt het getijverschil met zo'n 10 procent toe.

Deze berekeningen van de te verwachten veranderingen in het getijpatroon zijn essentieel voor het technisch ontwerp en de economische haalbaarheid van een getijcentrale. Zij vormen ook de basis voor de discussie over eventuele veranderingen in het milieu.

Sommige berekeningen kunnen tamelijk rechtstreeks worden uitgevoerd, zoals bijvoorbeeld de verhoogde kans op overstromingen als gevolg van een combinatie van iets hogere vloedstanden en meteorologische veranderingen in het zeeniveau. De verhoogde vloedstanden alleen zijn niet voldoende om tot overstromingen te leiden, ondanks schertsende opmerkingen van Canadese wetenschappers dat de in de Fundybaai opgewekte energie direct haar weg zou vinden naar de inwoners van Boston voor het leegpompen van hun kelders.

Andere gevolgen van een getijcentrale in de Fundybaai, bijvoorbeeld voor de visserij in het gebied, vereisen uitvoiger onderzoek en in de meeste gevallen een beoordeling van de grote rol die de getijden, behalve bij het rijzen en dalen van het zeeniveau, nog in andere oceanografische processen spelen. Wat heeft de bouw van een getijdenenergiecentrale bijvoorbeeld voor gevolgen voor de stromingen en de weersgesteldheid in de kustgebieden?



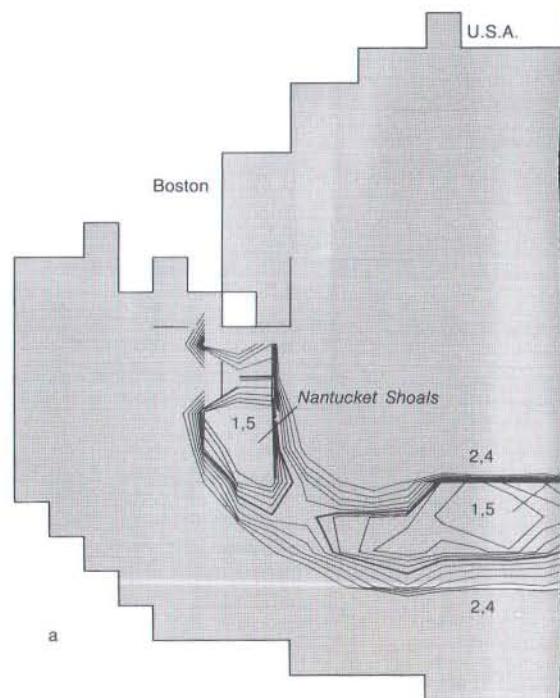
Het zwakke punt van deze benadering is dat zij de zoetwateraanvoer, (en het stratificerende effect daarvan), stromingen en enkele andere effecten verwaarloost. De afbakening van goed gemengde gebieden en de daarmee geassocieerde mengfronten waar de biologische produktiviteit hoog schijnt te zijn echter, is van groot nut gebleken voor onderzoek naar de primaire produktie en de paaigebieden van de haring en de hiermee samenhangende vaststelling van vangstquota.

Deze goed gemengde gebieden zijn op infrarood-satellietfoto's van het zeeoppervlak meestal te zien als koude gebieden, hoewel in de late zomer het ondiepe water boven het

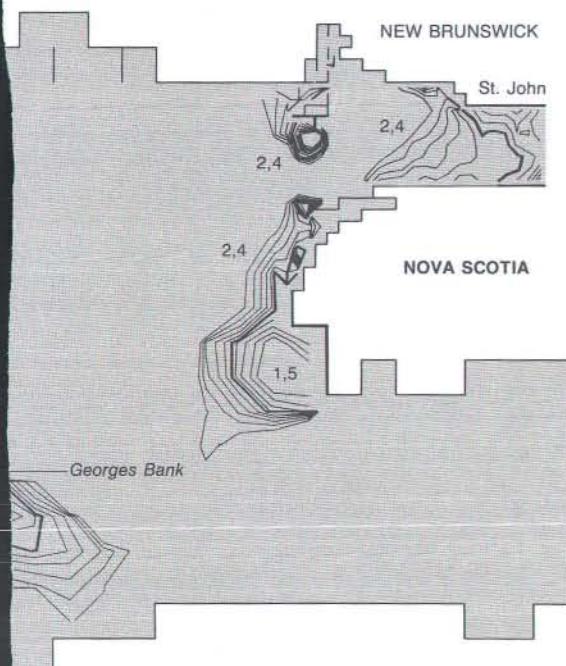
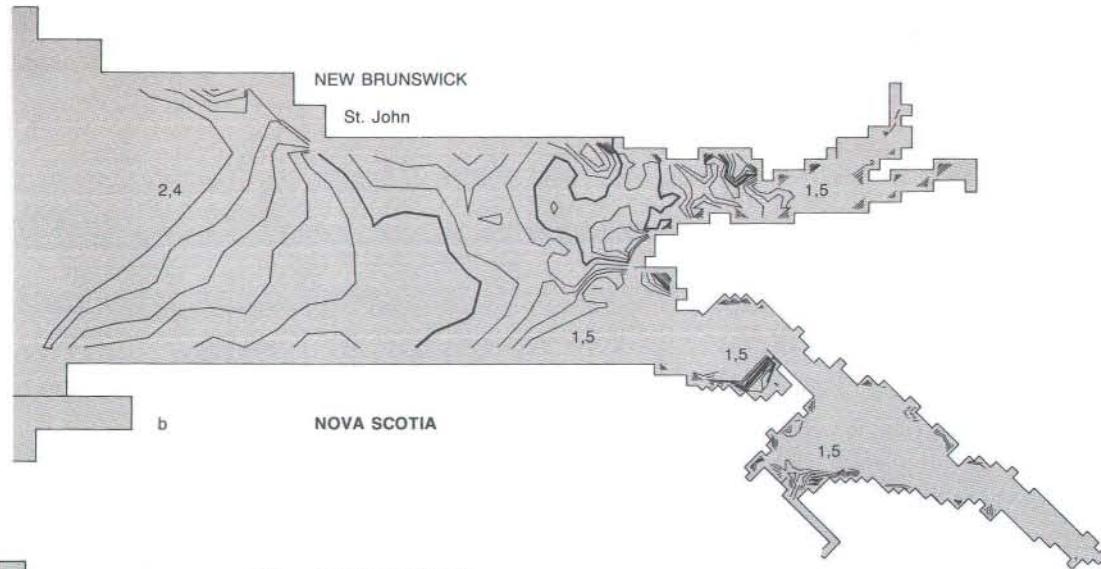
Secundaire effecten van de getijden

De grote getijverschillen in de Fundybaai oefenen grote invloed uit op mens en milieu in het gebied. Zo zijn sterke stromingen, grote getijverschillen en frequente mist factoren waar de zeeman terdege rekening mee moet houden. Topattracties voor de toerist zijn de snel opkomende vloedgolf, die op sommige rivieren voorkomt en een uitstapje naar Kaap Split waar de binnenkomende vloedgolf een spectaculair gezicht is. Voor de oceanograaf is een van de interessantere en belangrijkere effecten van de getijden de turbulente menging die door sterke getijstromingen wordt opgewekt.

In een baanbrekend onderzoek op de Britse eilanden toonden John Simpson en John Hunter het belang aan van de parameter diepte/(getijstroom)³, door gebieden die van boven tot onder het hele jaar goed gemengd blijven te onderscheiden van die waar 's zomers in reactie op de zonnewarmte een verticale temperatuur- en dichtheidsverdeling ontstaat zoals in een meer. Door de berekeningen van de parameter (of de equivalente grootheid: diepte/energiedissipatie) uit Greenbergs model te vergelijken met oceanografische gegevens van de Fundybaai (zie fig. 6) werd bijna exact dezelfde kritische waarde gevonden. Zo konden aan de hand van het model de gebieden afgebakend worden die 's zomers goed gemengd zijn (zie fig. 7) wat belangrijk is voor de visserij langs de kust. De voedselrijkdom wordt door de sterke menging namelijk bevorderd.



Geheel linksboven: Fig. 6. Het dichtheidsverschil (in deeltjes per duizend) van het wateroppervlak tot op de bodem op verschillende plaatsen in de Fundybaai. De gegevens werden verkregen in juli en augustus gedurende een aantal jaren en zijn uitgezet tegen de logaritme van de diepte (H , in meters) gedeeld door de getijdenenergiedissipatie (D) per tijdseenheid ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$). Let op de overgang van de goed gemengde naar de gelaagde gedeelten bij $\log [H/D] = 1,9$. Dit komt overeen met $H/U^3 = 70 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^3$ waarbij U de amplitude is van een rechtlijnige getijstroom.



Boven en rechtsboven: Fig. 7. Lijnen van gelijke log [H/D] voor de Fundybaai en de Golf van Maine. H is de diepte in meters en D de getijdenenergie-dissipatie. Alleen de lijnen tussen 1,5 en 2,4 zijn afgebeeld. Hydrografische gegevens voor juli en augustus laten zien dat gebieden met $\log [H/D] < 1,9$ goed gemengd zijn zoals fig. 6 illustreert. Deze lijn is in fig. 7 dikker getekend. Het is de grens tussen gemengde en gelaagde gebieden. De tekening geheel boven is de Golf van Maine en een gedeelte van de Fundybaai en hierboven het bovenste gedeelte van de Fundybaai.

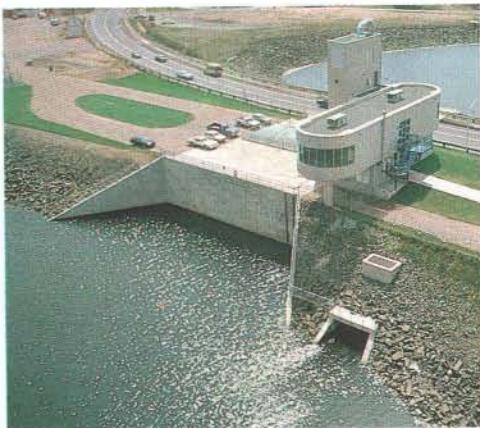
midden van de Georges Bank en in het bovenste gedeelte van de Fundybaai, ook al is het goed gemengd, warm is geworden.

Veranderingen in de omvang van de menggebieden als gevolg van een getijcentrale kunnen voorspeld worden. Dit levert de basis voor discussies over de gevolgen voor de visserij. Aan de zeezijde van de centrale zijn de veranderingen gering, ofschoon de factor (stroom)³ uit de voornoemde formule met 15 procent zou veranderen in het geval van het B9-project, dat een stroomverandering van 5 procent tot gevolg zou hebben.

In het spaarbekken achter de afsluiting zou de stroming met een factor drie worden verminderd. Voor de zonnestraling en de rivieraafvoer is dat waarschijnlijk voldoende om het te winnen van het door de getijden opgewekte mengproces en een verticale dichtheidsverdeling te bewerkstelligen, hoewel het onderzoek dat hierover definitief uitsluitsel moet geven, nog niet is uitgevoerd. Door deze overgang van gemengde naar gestratificeerde toestand zou de troebelheid van het water waarschijnlijk drastisch verminderen doordat het slijt kan bezinken; de primaire produktie, die op het ogenblik wordt geremd door gebrek aan licht, zou wel eens fors kunnen toenemen. Met andere woorden, een van de belangrijkste milieueffecten zou wel eens positief kunnen blijken te zijn.

Volgens het als estuarium uitgevoerde model van de Fundybaai zou het spaarbekken ook aanzienlijk minder zout worden. Ook dit is een probleem dat nadere studie vereist als grootschalige opwekking van getijdenenergie serieus zou worden overwogen.

Tot nu toe zijn fysische oceanografen de problemen die rechtstreeks verband houden met de gevolgen van getijdenenergie uit de weg gegaan en hebben zijn hun aandacht meer gericht op de getij-effecten in het natuurlijke regime. In een aantal interessante studies is gesproken hoe sterk schommelende getijstromen veranderen in aanzienlijke gelijkmatige stromingen.

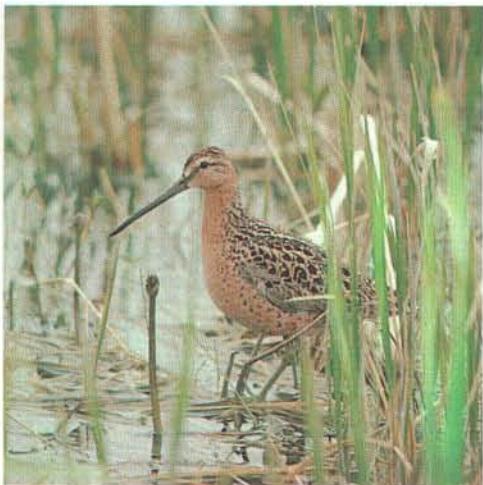
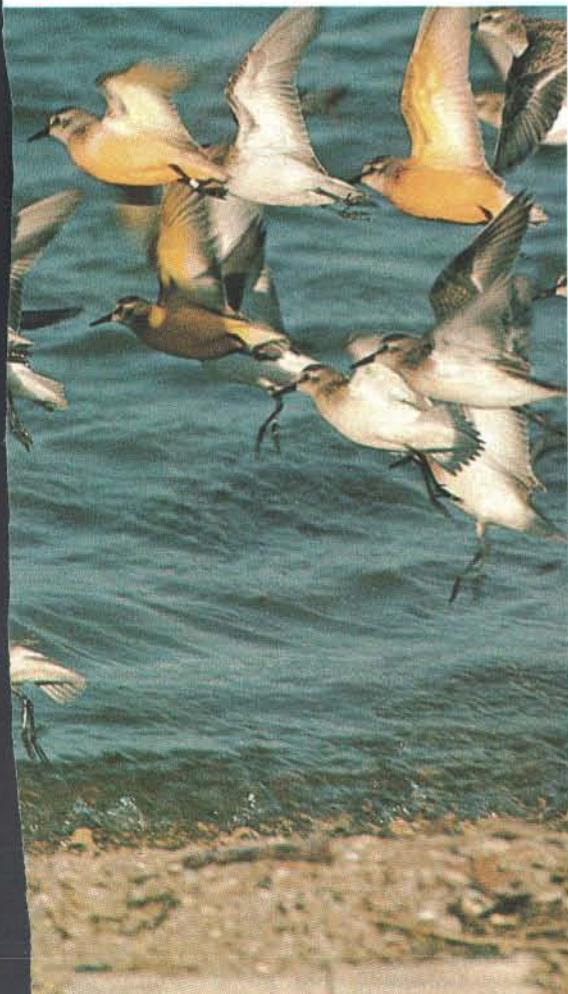


Overige effecten

Wat het geologische aspect betreft van de mogelijke milieu-effecten is de vroegere vrees dat het rendement van een getijcentrale zou afnemen door de snelle accumulatie van slib, grotendeels uit de weg geruimd door model-studies. De stroming in de buurt van de sluizen en turbines zou namelijk groot genoeg zijn om het eventuele slib in suspensie te houden. In het spaarbekken echter zouden grote veranderingen in het getijpatroon (zie fig. 2) het waddengebied aanzienlijk verkleinen. Dit zou op sommige plaatsen leiden tot een snelle accumulatie van sedimenten. Hierdoor zou de

sterfte onder alle in of op de bodem levende vlokreeften (amfipoda) en andere diersoorten op deze plaatsen kunnen toenemen.

De mogelijkheid dat een verkleind wadden-gebied zou ontstaan wat een geringere dicht-heid van de benthos (in of op de bodem leven-de organismen) tot gevolg zou hebben, heeft aanleiding gegeven tot bezorgdheid over de invloed van een getijcentrale op de trekkende kustvogels. Verschillende soorten, met name de kleine grijze strandloper, voeden zich met vlokreeften gedurende een aantal weken in de late zomer in het bovenste gedeelte van de Fundybaai en verdubbelen zo hun gewicht alvorens zij zonder onderbreking naar Zuid-



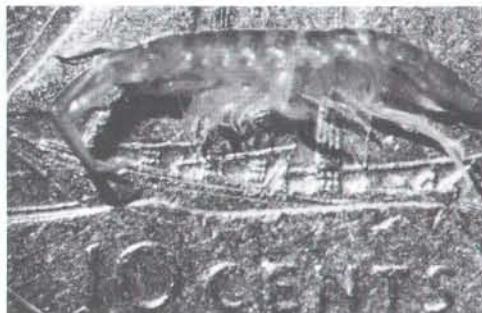
Linksboven: Een blik stroomopwaarts vanuit de lucht op de proefcentrale bij Annapolis Royal. Rechts in de vleugelmuur zit een opening waar vis de dam kan passeren.

Links: Een zwerm kleine grijze strandlopers (*Calidris pusilla*). De gele vogels zijn gemerkt met een kleurstof om hun trek te bestuderen. Op metalen en gekleurde ringen staat waar en wanneer de vogels gemerkt zijn. Het bovenste deel van de Fundybaai is een belangrijk verzamelpunt van deze soort in het oosten van Noord-Amerika.

Boven: Een grijze snip (*Limnodromus griseus*) in 'bruidskleed'. Ook voor deze vogelsoort is de Fundybaai een belangrijke pleisterplaats op zijn trektocht. Soms verschijnt de grijze snip wel eens aan de kusten van Noordwest-Europa.

Onder: De vlokreeft *Corophium* op een Canadese 10-cent munt. Vlokreeften dienen als voedsel voor vissen en vogels.

Rechts: Deze infrarood-foto van de Golf van Maine werd op 5 september 1978 genomen door de Amerikaanse satelliet NOAA-5. De zeer lichte gebieden zijn land of wolken, de donkere zijn de gebieden met warm water en de lichtgrijze die met kouder water. Aan de noordzijde van de Georges Bank zijn draaikolken te zien, die bij mengfronten ontstaan en een horizontale uitwisseling teweegbrengen.



Amerika vliegen. Het is niet bekend of het huidige waddengebied een sleutelfactor is in de huidige populatieniveaus en, zo ja, in hoeverre deze populaties zouden teruglopen als een getijcentrale gebouwd zou worden.

Een vissoort die van nadelige effecten te lijden zou kunnen hebben, is de Amerikaanse elft (*Alosa sapidissima*), die 's zomers langs de Atlantische kust van de Verenigde Staten naar het bovenste gedeelte van de Fundybaai trekt, waarbij een grote sterfte zou kunnen plaatsvinden bij het passeren van de turbines van de getijcentrale.

De algemene context

Een positief besluit over de opwekking van getijdenenergie in de Fundybaai zal in de eerste plaats worden bevorderd door economische overwegingen en getemperd door politieke, of omgekeerd. Nadelige milieu-effecten

zouden echter wel eens in aanmerking kunnen worden genomen bij een definitieve beslissing en zouden kunnen leiden tot wijzigingen in het ontwerp. Het is echter heel goed mogelijk dat getijdenenergie veel minder negatieve neveneffecten heeft dan andere energiebronnen, zoals de verbranding van fossiele brandstoffen met de bijkomende problemen van zure regen en klimaatveranderingen, of kernenergie, dat problemen oplevert bij de uraniumwinning en de afvalverwijdering.

Zelfs als getijdenenergie in deze hoek van Noord-Amerika uit milieu-oogpunt aantrekkelijk is, dan nog zijn de mogelijkheden ervan op wereldschaal tamelijk beperkt. De huidige dissipatie van getijdenenergie per tijdseenheid in 's werelds oceanen bedraagt ongeveer 4 TW ($4 \cdot 10^{12}$ W), wat vergelijkbaar is met het totale verbruik van elektrische energie op dit ogenblik. Het is zeer onwaarschijnlijk dat getijdenenergie ooit meer dan een kleine fractie daar-



van zal kunnen produceren. Hubbert noemt in dit verband een getijdenenergiopotentieel over de hele wereld van 64 GW ($64 \cdot 10^6$ W), minder dan 1/3 van het huidige verbruik in de Verenigde Staten. Er is dus geen enkele reden om grote verwachtingen te koesteren.

Uit wetenschappelijk oogpunt is het interessant op te merken dat getijdenenergie oorspronkelijk de kinetische energie van de rotatie van de aarde is. Bij de huidige dissipatie neemt de lengte van de dag in ongeveer 40 000 jaar met 1 seconde toe omdat de kinetische energie heel langzaam afneemt. Door in de Fundybaai getijdenenergie op te wekken zou dit tempo heel licht toenemen, maar dit zal waarschijnlijk niet als een ernstig milieu-effect worden gezien.

Conclusies

De mogelijkheid van de opwekking van getijdenenergie in de Fundybaai heeft de aanzet gegeven tot fundamenteel onderzoek dat ons begrip van de oceanografie van dit gebied aanzienlijk heeft verruimd en tot meer inzicht heeft geleid in de mogelijke milieu-effecten van een groot project. De wisselwerking tussen zuiver wetenschappelijk onderzoek en toegepaste wetenschap is typisch voor een nog zo jonge tak van wetenschap als de oceanografie; het is zelden mogelijk praktische problemen op te lossen zonder enig fundamenteel onderzoek.

Onderzoek van de getijden en hun secundaire effecten is slechts een klein onderdeel van het onderzoek in de fysische oceanografie. Het illustreert echter het feit dat de fysische oceanografie een veelbelovende tak van de fysica is en niet alleen een puur beschrijvend onderdeel van de geografie. Voor bekwame jonge natuurkundigen en wiskundigen liggen hier tal van mogelijkheden om zich bezig te houden met fundamentele problemen die met de nodige creativiteit oplosbaar zijn.

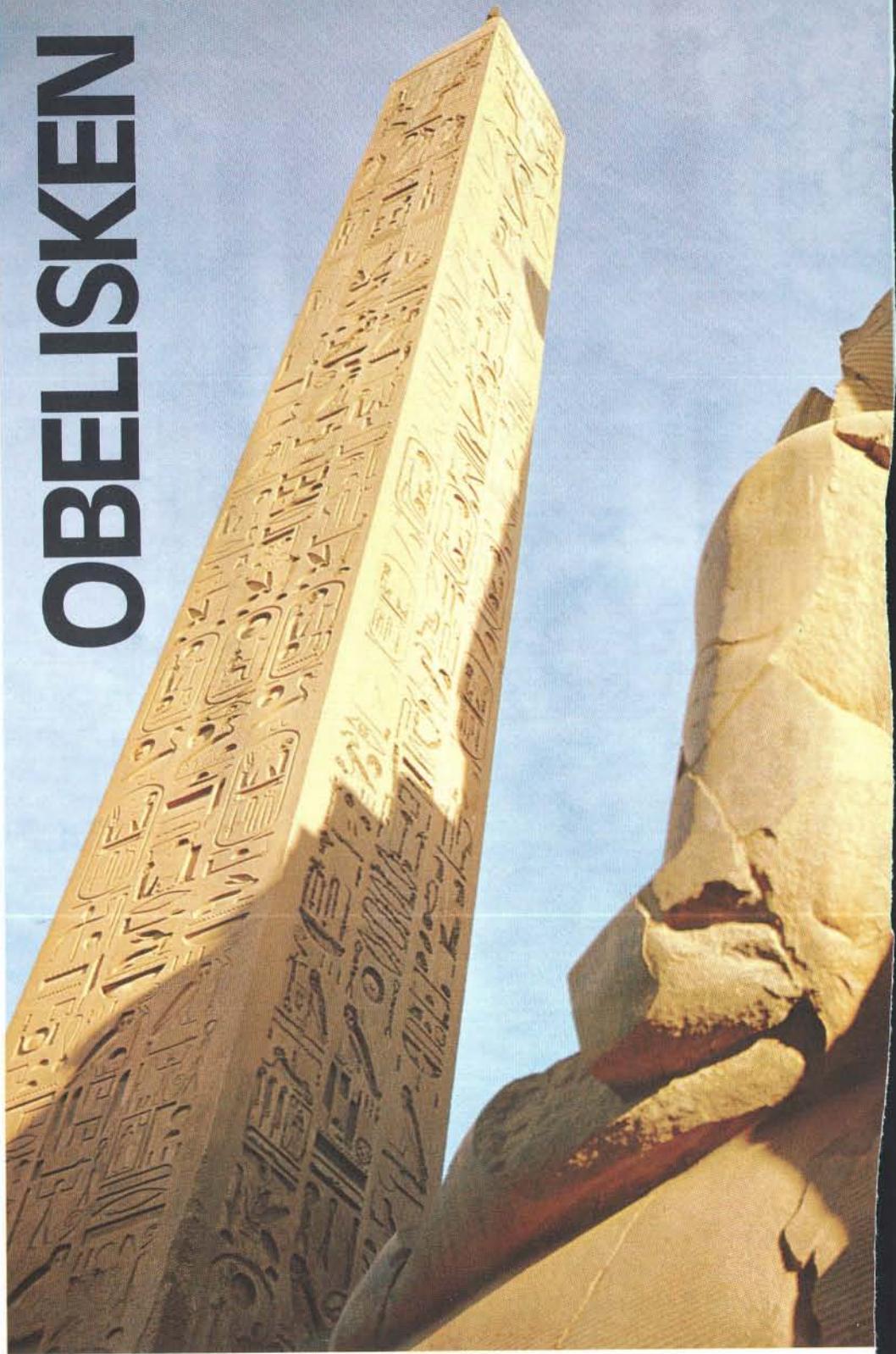
Literatuur

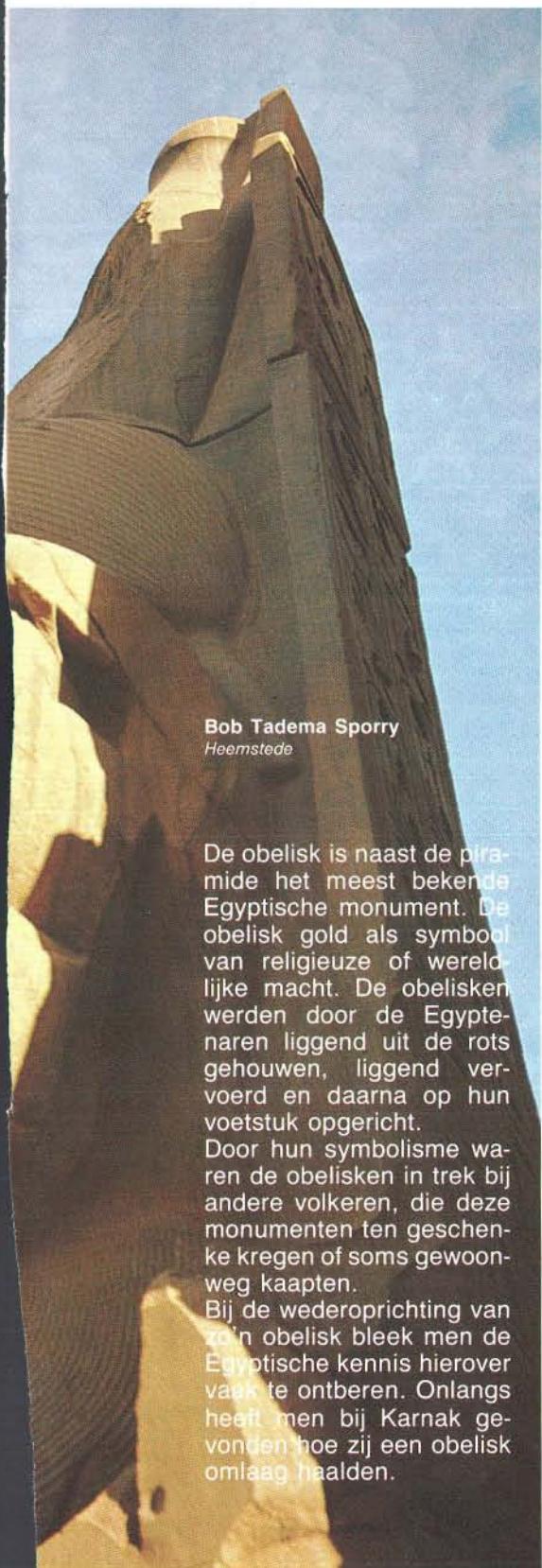
Garrett, C., (1972). *Tidal resonance in the Bay of Fundy and Gulf of Maine*. Nature 238, pag. 441-443.
Simpson, J.H., Hunter, J.R., (1974). *Fronts in the Irish Sea*. Nature 250, pag. 404-406.
Iles, T.D., Sinclair, M., (1982). *Atlantic herring: stock discreteness and abundance*. Science 215, pag. 627-633.
Lambeck, K., (1980). *The Earth's Variable Rotation: Geophysical Causes and Consequences*. Cambridge Univ. Press.
Hubbert, M.K., (1971). *The energy resources of the earth*. Scientific American 224, pag. 60-70.

Bronvermelding illustraties

Bedford Institute of Oceanography, Bedford: pag. 938-939, 952.
Nova Scotia Power Corporation, Halifax: pag. 939, 947 rechts, 950 boven.
Phototheque EDF-Brigaud, Parijs: pag. 940 links.
Government of Nova Scotia, Halifax: pag. 942 en 943 onder.
R.I.G. Morrison, Canadian Wildlife Service, Ottawa: pag. 950-951 onder, 951.
Atmospheric Environment Service Canada, Ottawa: pag. 952-953.
Alle andere illustraties zijn afkomstig van de auteur.

OBELISKEN





Bob Tadema Sporry
Heemstede

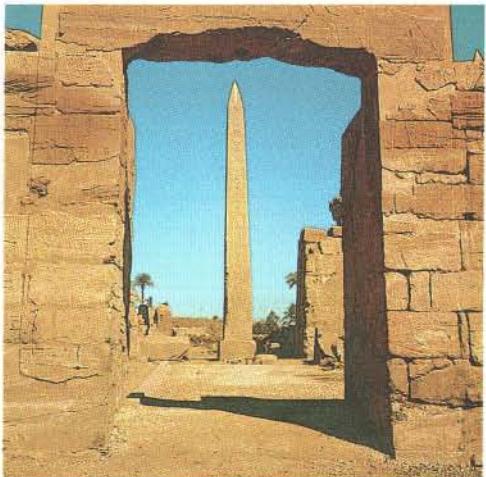
De obelisk is naast de piramide het meest bekende Egyptische monument. De obelisk gold als symbool van religieuze of wereldlijke macht. De obeliskken werden door de Egyptenaren liggend uit de rots gehouwen, liggend vervoerd en daarna op hun voetstuk opgericht.

Door hun symbolisme waren de obeliskken in trek bij andere volkeren, die deze monumenten ten geschenke kregen of soms gewoonweg kaapten.

Bij de wederoprichting van zo'n obelisk bleek men de Egyptische kennis hierover vaak te ontberen. Onlangs heeft men bij Karnak gevonden hoe zij een obelisk omlaag haalden.

Links: In de Egyptische plaats Luxor staat nog slechts één obelisk overeind: die van Ramses II (1298-1231 v. Chr.)

Onder: De obelisk van Thoetmoses I (1520-1508 v. Chr.) staat in Karnak en stamt uit de 18e dynastie. Men beschouwt de obeliskken uit deze periode als de meest volmaakte die men ooit gebouwd heeft.



De obelisk, een grote of kleinere 'naald' uit één stuk steen gehouwen, is een Egyptische uitvinding die tot in onze tijd heeft uitgehouden als symbool van religieuze of wereldlijke macht. De obelisk ontstond als een zonnesymbool en behoort met de piramide tot de meest typerende Egyptische monumenten. Beide ontstonden tegelijk aan het begin van het Oude Rijk (2750-2258 v. Chr.), maar alleen de obelisk bleef verbonden aan de dominante geestelijke normen van de tijd waarin hij tot stand kwam. Tot op de dag van vandaag heeft de obelisk nooit zijn Egyptische identiteit verloren. De Egyptenaren hebben meer dan 2000 jaar obeliskken gemaakt.

In Egypte zelf was de obelisk altijd een cultusvoorwerp, gewijd aan de zonnegod Ra. De piramidevormige punt werd steeds bekleed met goud, electrum (een mengsel van zilver en goud) of gepolijst brons. Deze punt weerspiegeld bij het opgaan van de zon de eerste zonnestralen. De vroegste obeliskken stonden altijd in de zonnetempel en men nam aan dat de zonnegod daarin lijfelijk aanwezig was.

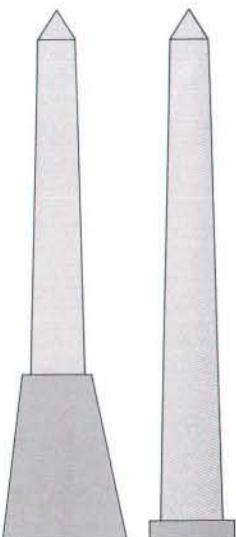
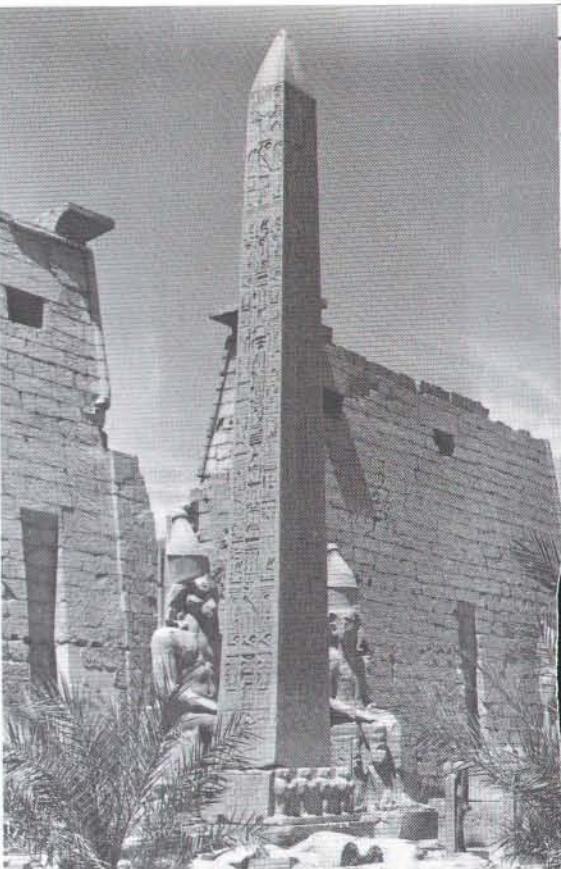
De grote bloei

De eerste obelisken waren kort en breed; zij stonden op een hoog voetstuk. De uiteindelijke slanke vorm kreeg hij in het begin van de 12e faraodynastie (1991-1786 v. Chr.). Er bestaat er nog maar één uit die tijd, namelijk in de stad Heliopolis, nu een voorstad van Cairo. Dit monument danken we aan farao Sesostris I (1971-1928 v. Chr.).

De grootste, mooiste en meest perfecte steenen naalden stammen uit de 18e dynastie (1570-1314 v. Chr.). Ze stonden allemaal in de tempel van Amon-Ra, in zekere zin de staats-tempel, op het reusachtige complex van Karnak bij Luxor. Meestal stonden de obelisken in paren. Er is echter één eenling: die van farao Thoetmoses III, die pas veel later door zijn kleinzoon Thoetmoses IV overeind werd gezet.

In de 19e dynastie (1314-1200 v. Chr.) verschenen er meer obelisken dan ooit, maar ze waren veel kleiner. Tegen de Natijd schijnt het de koningen aan goud en de steenhouwers aan techniek te hebben ontbroken want uit die tijd zijn er haast geen. Later, in de 7e eeuw v. Chr., keren ze weer terug.

Iedere obelisk was voorzien van vele inscripties en de naam van de oprichter. Ze werden altijd geplaatst ter gelegenheid van speciale gebeurtenissen of een koninklijk jubileum en waren altijd gewijd aan de zon.



Links: Fig. 1. De eerste obelisken (links) waren plomp en stonden op een hoog voetstuk. De latere (rechts) zijn slanker en hadden maar een laag voetstuk.

Boven: De obelisk van Ramses II in de tempel van Luxor staat alleen. De erbij behorende obelisk staat nu op de Place de la Concorde in Parijs.

Rechtsboven: In de granietgroeve bij Aswan ligt de Onvoltooide Obelisk. Een fout in de steen veroorzaakte een verticale barst, waardoor men het werk stakte.

Het maken van een obelisk

Alleen harde steensoorten, graniet, kwartsiet en bazalt, kwamen in aanmerking voor het vervaardigen van het in wezen kwetsbare monument; graniet uit Aswan genoot hierbij de voorkeur. Door de daar aanwezige 'onvoltooide obelisk' weten we vrij aardig hoe ze tot stand kwamen. Geologen onderzochten de uitgekozen steenlagen, waarna de maten werden uitgezet. Dan kon men beginnen met het enorme werk dat meestal na zeven maanden klaar was. Eerst werd de oppervlakte van de steen (een zijkant) glad gemaakt door middel van aan stelen vastgemaakte ballen doleriet die door drie mannen bediend werden. Twee lieten de stenen bal 'dansen' om de steenlaag te versplinteren; een derde hield de bal in de goede richting. De zijkanten werden eveneens door



dese ballen vrijgemaakt (duidelijk te zien bij de onvoltooide obelisk), waarna de onderkant werd losgemaakt door boren.

Van een obelisk van koningin Hatsjepsoet (1490-1468 v. Chr.) weten we door de afbeeldingen in haar dodentempel te Deir el-Bahari, dat in zeven maanden de obelisk gereed was voor vervoer naar een schip op de Nijl. De obelisken van Hatsjepsoet waren 30 meter hoog. Tijdens het losmaken in de steengroeve begon men waarschijnlijk al met de inscripties en het polijsten, de rest werd aan boord afgemaakt. Het vervoer naar de Nijl ging via een opgeworpen dijk waarover met houten rollers de obelisk werd voortgesleept.

Het schip was heel groot en werd door dertig geroeide sleepboten voortgetrokken. Hiervoor zal men zeker van de jaarlijkse Nijloverstroming gebruik hebben gemaakt.

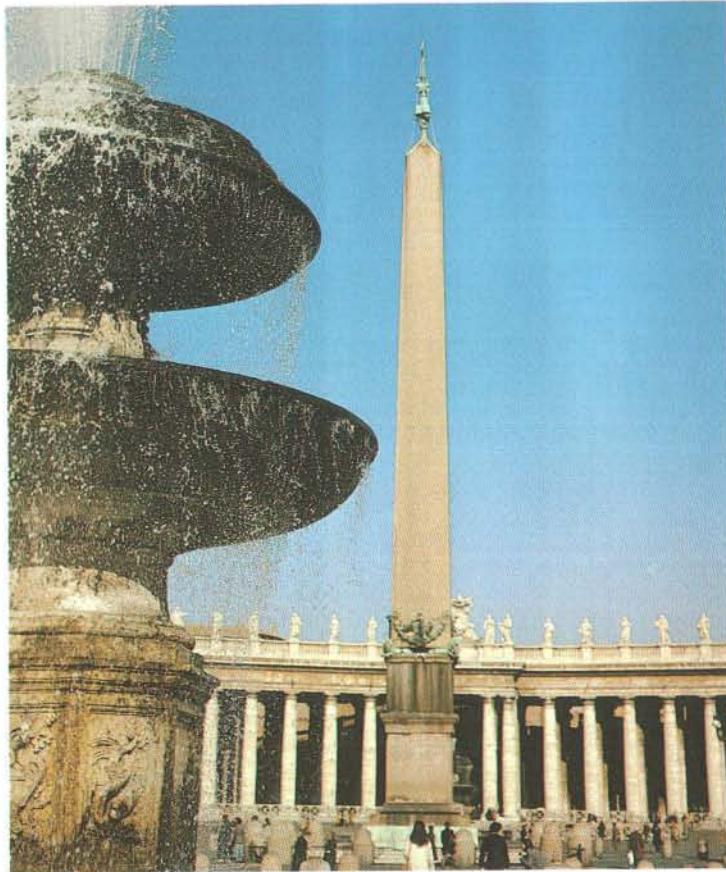
Techniek in de oudheid

Het is merkwaardig hoe weinig problemen de oude Egyptenaren hadden met het maken, vervoeren en plaatsen van een zo onhandelbaar stuk steen. Er zijn slechts drie mislukte obelisken bekend. De Onvoltooide Obelisk is er een van en die mislukte door fouten in de steen en niet door menselijk falen. De fout die een einde aan dit werk maakte was een verticale barst. Deze obelisk moet iets heel bijzonders worden met een lengte van 41,75 m, de doorsnede aan de voet van 4,2 m en een gewicht van 1168 ton!

De nu nog in Thebe overeind staande obelisken mogen er ook wezen. In Karnak staan er drie, in Luxor één. De langste bekende obelisk is die van Lateraan in Rome: 32,18 m. Die van Hatsjepsoet in Karnak is 29,65 m; die in Istan-

boel 28,98 m. De obelisken van Londen, Parijs en New York zijn allemaal ruim 20 meter hoog.

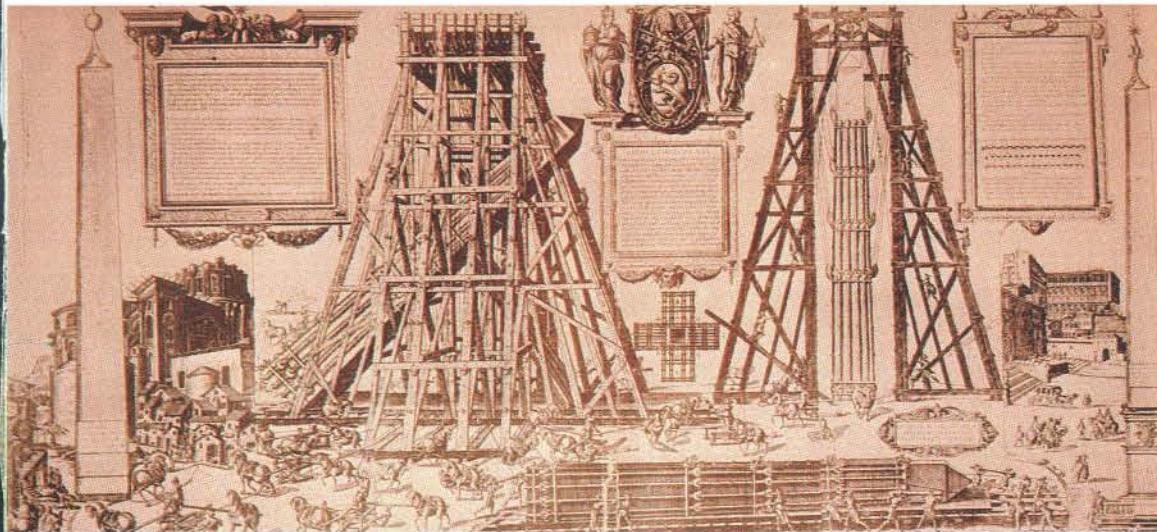
Waar het oprichten van een obelisk in Egypte gladjes verliep, was dat in Europa een andere zaak. De Romeinen konden het nog goed maar die waren bekend met het Oude Egypte. Er werd een aarden dam opgeworpen naar de standplaats, een in de dam gegraven kuil met het voetstuk op de bodem. Om breuk te voorkomen was de helling van dam naar kuil een ronde glooiing. Op (gevonden) houten rollers en met touwen van 18 cm dik werd het gevraagde voortgeslept. De met zand gevulde kuil werd tijdens het laten-zakken op de bodem leeggehaald via daar aanwezige gangen, zodat de obelisk rustig kan weg zakken. In Karnak staat een scheve obelisk die niet goed op zijn voetstuk terecht kwam.



Links: Na veel omzwervingen kwam de Vaticaanse obelisk op het Sint Pieterplein in Rome terecht. In de Romeinse tijd stond er een bronzen bol op de top, die later in het Capitoolijns Museum een plaats kreeg. Nu siert een kruis de top van deze obelisk.

Boven: Op het beroemde Nijimozaïek in Palestina bij Rome staan twee obelisken voor een Egyptische tempel. Mogelijk komt dit Romeinse mozaïek oorspronkelijk uit Alexandrië (Egypte). De obelisken staan links van het midden.

Rechtsboven: Deze tekening geeft een indruk van het gigantische karwei dat het verplaatsen van de Vaticaanse obelisk naar het Sint Pieterplein was.



Obelisk op drift

Usurpatie ('kaping') van obelisken kwam al in de oudheid voor. Vooral de grote Ramses II was er sterk in; in de stad Tanis haalde hij er talloze weg wat een grote besparing op de kosten betekende. Het waren echter de Romeinen die de 'export' naar Rome op grote schaal ter hand namen. Ze wisten dat de obelisk een zonnesymbool was maar ook de macht van de farao uitdroeg en dat paste mooi in het straatje van de keizers.

In Egypte werden de stenen naalden van hun voetstuk gehaald, via de Nijl naar een haven vervoerd om dan per schip over de Middellandse Zee naar Ostia te gaan. Ze hebben hierbij kennelijk gebruik kunnen maken van de nog bestaande Egyptische technieken. Voortaan werd Rome het nieuwe vaderland der obelisken; daar staan er nu nog 13. Er kwamen ook vele nieuwe bij, Romeinse kopieën in Egyptische stijl. Ze zijn eveneens van Aswangraniet, maar er staan vaak valse hiëroglifyen op.

Bij Augustus' mausoleum kwamen twee obelisken bij de ingang te staan; in vele circussen verrezen ze op de spina, de lage muur die de renbaan in tweeën deelde. Men zag de wagenrace als de rond de zon draaiende hemellichamen. Ook hier bleef dus de obelisk als zonnesymbool nog in gebruik. De politieke rol

werd gespeeld door de nu aanwezige naam van de heersende keizer, die verwijderd kon worden door de obelisk een kwart slag te draaien als een nieuwe keizer ging regeren. Augustus bracht de obelisk van Sethi I (1312-1298 v. Chr.) naar het Circus Maximus, waar hij later werd gevonden, 7 m onder de grond. Paus Sixtus V liet hem naar de Piazza San Giovanni in Laterano vervoeren, wat een jaar vergde. Na de inwijding als christelijk monument, kwam er een kruis op de top te staan.

De Vaticaanse obelisk

Deze obelisk heeft de geschiedenis van Rome in alle stadia meegemaakt. Caligula haalde hem naar de stad tussen 37 en 41 AD. Het oorspronkelijke Romeinse voetstuk werd bij opgravingen gevonden in het Vaticaanse circus, de plaats die nu Piazza dei Protomartiri heet. Na de brand van Rome liet Nero hier een groot aantal christenen vermoorden; ook Petrus stierf toen de marteldood. Op oude afbeeldingen van zijn terechtstelling is altijd deze obelisk afgebeeld. In tegenstelling tot alle andere 'heidense' obelisken mocht deze blijven staan. Op de top vervangt een kruis de antieke verguld bronzen bol der Romeinen. In de middel-eeuwen nam men aan dat hierin de as van Caesar was geborgen! Na het tijdperk van de tegenpausen, toen er weer een normaal paus-



Boven: De bronzen bol van de Vaticaanse obelisk in het Capitolijs Museum van Rome. Men dacht vroeger dat hierin de as van Caesar zat en nog later dat het gebeente van Petrus er in geborgen was. De bol bleek echter leeg te zijn. Duidelijk zijn sporen van musketschoten te zien.

Rechts: Het Piazza Navona, een van de mooiste pleinen van Rome, wordt gesierd door een obelisk. Men heeft deze geplaatst bovenop een erbij behorende fontein: een mengeling van twee tijdperken, twee stijlen en twee cultu- ren.

dom in Rome gevestigd was, verhuisde de obelisk naar de plek waar hij nu staat: tegenover de Sint Pieter. Paus Sixtus V liet dit in 1586 uitvoeren na eindeloos gedram, onderhandelingen en ruzies. Sixtus had heel veel plannen, onder andere de bouw van de Sint Pieter, maar er was alleen geld genoeg voor de obelisk. Later werd de Sint Pieter toch gebouwd.

Een groot aantal huizen werd afgebroken om een vrije baan voor de kolos te maken, een weg van 225 m lang. De obelisk werd in een soort eikenhouten corset gelegd en zo vervoerd om daarna door middel van een hoge houten toren te worden opgevijzeld. Aardig is dat toen voor het eerst archeologische laboratoriumproeven werden gedaan met het brons van de, naar bleek lege bol. Men wilde namelijk weten hoe Romeins brons was samengesteld.

Moderne techniek

Napoleon zou de eerste zijn geweest die een obelisk voor zijn eigen land wilde hebben; zo gemakkelijk ging dat echter niet. Pas in 1833 stond de stenen naald, een geschenk van Mohammed Ali die erg scheutig met obelisken was, op de Place de la Concorde. In Parijs waren niet minder dan 200000 mensen er getuige van hoe het enorme ding veilig en wel op zijn voetstuk kwam te staan. De wijze waarop dit gebeurde staat in mooie vergulde letters op het voetstuk afgebeeld. Lebas heeft onvermoeibaar het hele werk met alle moeilijkheden uitgevoerd.

Hij haalde de obelisk uit Egypte met het schip Luxour, waarbij van alles mis ging, voer naar Toulon en via de binnenvateren naar de Seine en de landingsplaats daar. Lebas werd



wel heel rijkelijk voor dit gigantische karwei beloond door koning Louis Philippe, die de huldiging meemaakte.

Met de Londense obelisk van het Victoria Embankment ging het nog moeizamer. Deze was afkomstig van Thoetmoses III; zijn broertje staat in Central Park in New York. Eveneens een cadeautje van Mohammed Ali, moest deze obelisk 75 jaar wachten eer hij op zijn bestemming kwam. Hij werd ingebouwd in een stalen boot en per sleepboot in januari door de Golf van Biscaye vervoerd, iets wat mislukte. Zeven mensenlevens gingen hierbij verloren; het schip Cleopatra werd met de kostbare last echter weer opgepikt en de Theems opgesleept. Dat duurde niet minder dan 6 dagen. Maar eindelijk stond in 1878 de Naald van Cleopatra dan toch op zijn plaats. Niet erg fraai want hij staat op zo'n plaats dat hij moeilijk te zien is

en is erg opgetut met bronzen versiersels, maar Londen had haar eigen obelisk.

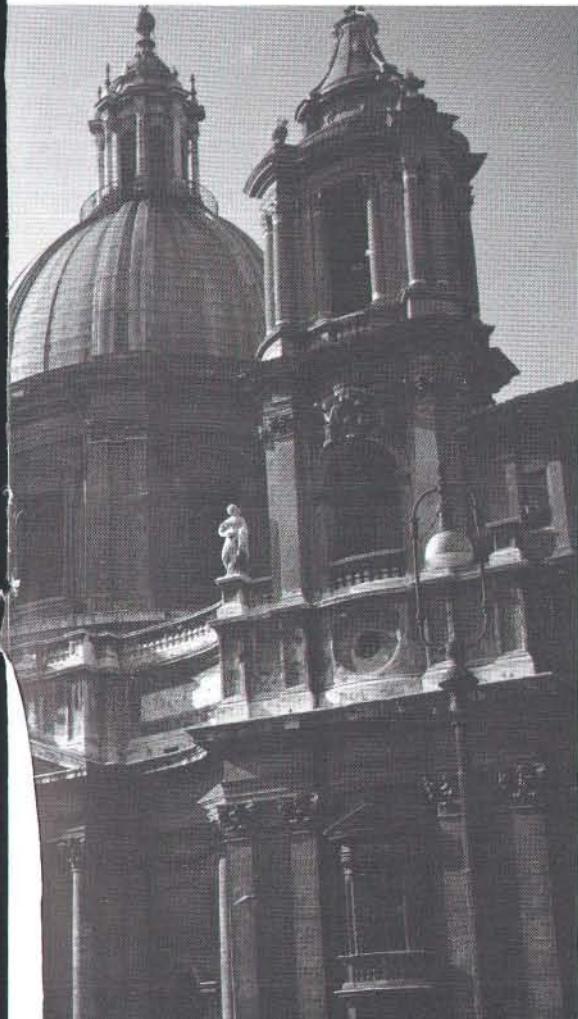
De Amerikanen deden het beter toen ze ter gelegenheid van de opening van het Suezkanaal in 1869 ook een obelisk kregen. Maar in de USA bleek weinig belangstelling voor het cultuurmonument te bestaan. Die interesse kwam pas in 1880, maar toen stond de stenen naald dan ook na 15 maanden hard werken op zijn heuvel in Central Park. In een stad waar toen nog niet één wolkenkrabber stond moet hij grote indruk hebben gemaakt.

Een obelisk omlaag halen

In Karnak heeft men tijdens de jongste opgravingen uitgekiend hoe men in de oudheid een obelisk omlaag haalde. Het betrof die van Istanboel die door keizer Constantijn werd weggehaald. Op de Romeinse wijze werd deze met de toen bestaande machines, kaapstanders en takels, neergelaten waarbij reusachtige houten steigers telkens het gewicht ophingen.

Wat alles vergde wel veel ruimte. Daarom werden eerst de in de weg staande muren afgebroken en de grond gelijk gemaakt. Acht zware houten poorten werden verankerd in daarvoor gemaakte spleten in de stenen grond; acht masten moesten het steeds toenemende gewicht van de kolos door middel van takels oppangen en zo kwam deze geleidelijk op de gereed staande houten slede te liggen voor vervoer naar de Nijl.

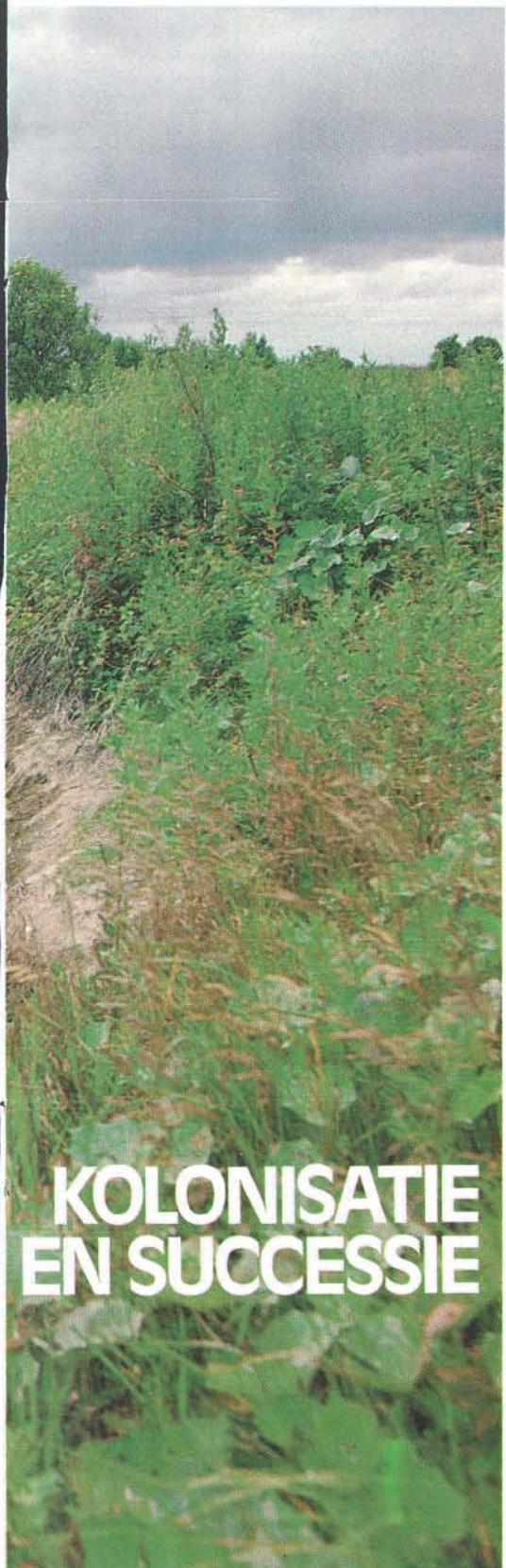
Deze voor de hand liggende methode werd gevonden door een in Tunesië aan Romeinse oudheden werkende archeoloog die daarmee de oplossing vond voor een geheimzinnige stenen bouw in Karnak waarvoor geen verklaring te vinden was. Berekeningen van Franse archeologen uit Karnak hebben de theorie bevestigd. Op deze manier is weer een klein stukje kennis verworven over de zwerftochten van de in Europa en in andere werelddelen aanwezige obeliskken.



Bronvermelding illustraties

Alle illustraties bij dit artikel zijn afkomstig van Tadema Sporry, Heemstede.





KOLONISATIE EN SUCCESSIE

G.J.C. Buth

Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek
Yerseke

Wisselende plantengroei in een natuurgebied

Door de afsluiting van de Grevelingen in 1971 begonnen er planten te groeien op de voorgoed drooggevallen schorren en platen. Op de schorren verdwenen in verschillend tempo de meeste oorspronkelijke zoutplanten. Nieuwe soorten vestigden zich en stierven weer af. Thans begint er op de onbegraasde delen bosvorming op te treden. De omstandigheden op de platen waren in het begin zo extreem dat slechts enkele soorten zich hier konden handhaven. Na enige jaren ontstond een meer stabiele situatie en koloniseerden vele plantensoorten de platen. Naarmate hier de milieu-omstandigheden stabiever werden, zaten tussen de nieuwkomers steeds meer zeldzame soorten. Thans komen op de platen bijzondere duingraslandvegetaties voor, terwijl plaatselijk massale struikopslag ook hier een natuurlijke bosontwikkeling inhoudt.

Op de niet-beweide schorren vindt bosvorming plaats. Verspreid in de zgn. ruigtekruidenvegetatie, die gevormd wordt door o.a. wilgeroosje, akkerdistel en duinriet, komen wilgensoorten en vlier voor. In oude kreken van de schorren zijn op sommige plaatsen nog zoutplanten zoals zeekraal en zeeaster terug te vinden.

Inpoldering en successie-onderzoek

Toen in 1971 de Grevelingen van de zee werd afgesloten is ongeveer 350 hectare schor en 2600 hectare zand- en slikplaat permanent drooggevallen (zie fig. 1). Schorren (in Noord-Nederland kwelders genoemd) zijn buitendijkse gronden die zo hoog liggen dat ze begroeid zijn, in tegenstelling tot de lager gelegen en meestal niet met hogere planten begroeide zand- en slikplaten.

Het plotseling wegvalLEN van het getij, dus de regelmatige overspoeling met zout water, veroorzaakte ingrijpende milieu-veranderingen in het voorkomen van plantensoorten. Nieuwe plantensoorten vestigden zich in de reeds aanwezige schorvegetatie of koloniseerden de kale platen. Vooral in de eerste jaren na deze milieu-'schok' breidden vele van deze plantensoorten zich snel uit, stierven meestal na enkele jaren weer af door het zich nog steeds wijzigende milieu en werden opgevolgd door nieuwe soorten. Dit proces van veranderingen in het vegetatiedek in de loop der tijd wordt *successie* genoemd.

Door de Nederlandse inpolderingstraditie kon men de successie van de plantengroei in verschillende gebieden volgen. Men heeft verscheidene studies hiernaar uitgevoerd in de IJsselmeerpolders, zowel in het verleden als het heden (Mook, 1982). De successie kon hier echter meestal maar tot een bepaald tijdstip gevuld worden, omdat deze kleige polders een agrarische bestemming hadden. Bovendien werden in deze gebieden greppels aangelegd en het land meestal ingezaaid met riet. Door de meer recente bedijkingen in het Deltagebied en die van het Lauwersmeer zijn voornamelijk zandige, dus voor landbouw minder geschikte gronden ingepolderd. Deze tot natuur- en/of recreatiegebied bestempelde gronden bieden de bijzondere mogelijkheid over een lange periode gegevens te verzamelen over de successie van de plantengroei. Deze mogelijkheden worden dan ook gretig benut door medewerkers van de universiteiten van Groningen en Utrecht, het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Rijkswaterstaat en het Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Naast de wetenschappelijke betekenis hiervan zijn de resultaten van belang voor het opstellen van een beheerplan voor deze gebieden.



Boven: Fig. 1. Door de afsluiting van de Grevelingen in 1971 werd 350 hectare schor (kwelder) en 2600 hectare zand- en slikplaten niet meer door de vloed overspoeld. Als gevolg hiervan konden er planten gaan groeien of de bestaande plantengroei zich gaan wijzigen.

Rechts: Fig. 2. De opbouw van een schor heeft meestal een typisch patroon. Er ontstaan lage modderige kommen en hoger gelegen zandige oeverwallen, waartussen zich de kreken slingeren.

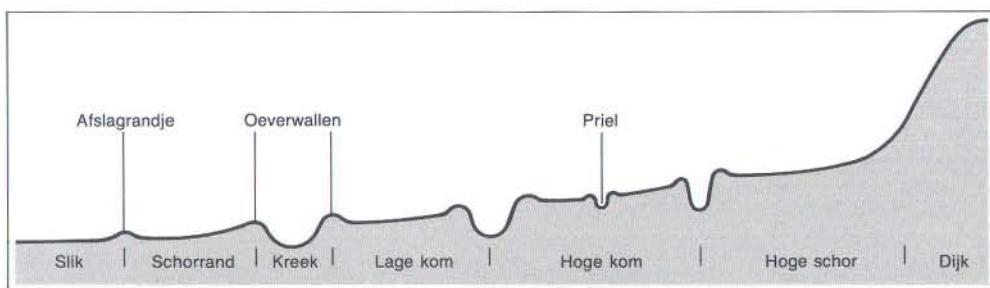
Land uit water

De schorren in de estuaria van zuidwest Nederland zijn ontstaan op plaatsen waar het water wat minder hard stroomde. Hierdoor konden de in het water zwevende zand- en slijddeeltjes bezinken. De vorming van land uit water vindt nu nog op kleine schaal plaats in sommige delen van de Ooster- en Westerschelde. Op dergelijke plaatsen bezinken bij hogere stroomsnelheden grofkorrelige zanddeeltjes, in rustiger water bezinken de fijnkorrelige slijddeeltjes.



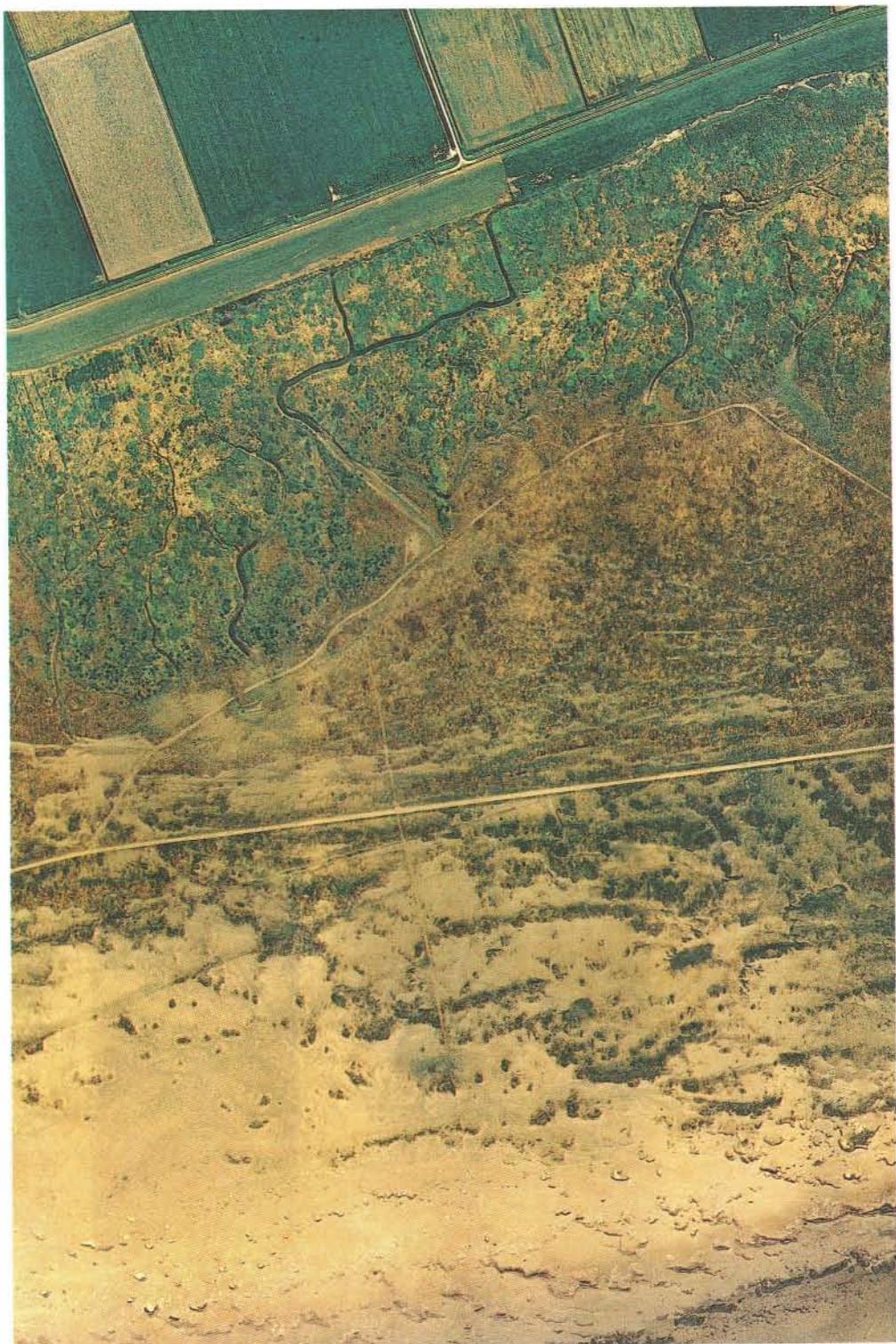
de door het schor slingerende kreken blijven onbegroeid.

Het water stroomt nu niet meer over het schor, maar via een netwerk van grotere en kleinere kreken. Vooral de grotere kreken worden hierdoor dieper en schuren uit, naarmate het schor hoger wordt. Wanneer bij extra hoge vloed het water over de kreekranden stroomt, worden door de plotselinge stroom-snelheidsafname eerst de zwaardere zandkorrels afgezet. Verder van de kreek af bezinken in het tot rust gekomen water de slibdeeltjes. Er ontstaan dus langs de kreken zandige oeverwallen, die door voortdurende aanvoer van zand steeds hoger komen te liggen. Tussen het netwerk van oeverwallen liggen de kommen waarin bij hoge vloed de slibdeeltjes worden afgezet. Het resultaat is uiteindelijk een schor dat bestaat uit lage modderige kommen en wat hoger gelegen zandige oeverwallen (zie fig. 2). Wanneer de sedimentatie doorzet worden de hoogste, tegen de dijk aangelegde delen van het schor alleen nog bij springvloed overspoeld.



Wanneer een zand- of slijplaat bij laag water droog komt te liggen kunnen zich hierop zoutplanten vestigen, mits de golfwerking en de stroming niet te heftig is. De eerste pionierplanten die zich vestigen zijn zeevrucht en engels slijkgas. Deze planten bevorderen de verdere opslibbing door de golfslag en de stroming van het overstromende water te remmen, waardoor in het water zwevende slibdeeltjes gemakkelijker bezinken. Naarmate het oppervlak door opslibbing hoger komt te liggen vestigen zich meerdere plantensoorten en op den duur ontstaat een dichte vegetatie. Alleen

Op de meeste schorren in de Grevelingen kwamen voor de afsluiting in de lager gelegen kommen voornamelijk engels slijkgas en zeevrucht voor. Deze planten stierven na de afsluiting af en vormden zo weer 'voedsel' voor hun opvolgers. De zandige en van een betere natuurlijke drainage voorziene oeverwallen waren begroeid met gewone zoutmelde. De hoger gelegen en meestal door schapen beweide kommen hadden een vegetatie waarin gewoon kweldergras het meest voorkwam. Op de hoogste delen groeide voornamelijk rood zwenkgras en strandkweek.



Ontwikkelingen op de schorren

Na het wegvalen van het getij veranderde de schorbodem in snel tempo van karakter. Door uitdroging kromp de kleiige bodem, zowel verticaal (klink) als horizontaal. De krimpscheuren verdeelden de bodem in veelhoekige brokken. Regenwater en lucht konden via de scheuren gemakkelijk binnendringen. Hierdoor begon de bodem te ontzilten en veranderde de samenstelling van de ionen in de grond. De ruime zuurstofvoorziening veroorzaakte een versnelde biologische afbraak van organische stoffen in de voordien anaerobe schorbodem. Doordat op sommige plaatsen schorplanten massaal asterven kwamen erg veel voedingsstoffen vrij, die door de eerste nieuwe plantensoorten benut konden worden.

In de lage kommen en langs de schorrand stierven in de eerste jaren de zoutplanten zee-kraal, engels slijkgras en zeeaster in grote getale af. Van de daarbij vrijkomende voedingsstoffen profiteerden stikstof-minnende ruigtekruiden die zich na vestiging explosief uitbreidden; aanvankelijk zout-tolerante melde-soorten en schorrekruid, later zout-mijdende soorten als akkerdistel en wilgeroosje-soorten. Na enkele jaren hadden deze soorten de bodem voor een groot deel uitgeput en werden op hun beurt weer vervangen door soorten uit voedselarmere milieus, zoals bijvoorbeeld de grassen duinriet, veld- en ruw beemdgras en strandkweek.

De huidige vegetatie wordt nog steeds voornamelijk door deze soorten en enkele andere grassoorten gevormd. De ruigtekruiden komen alleen nog op enkele plaatsen voor. Hou-

tige gewassen beginnen echter in deze vegetatie een steeds belangrijkere rol te spelen. Reeds twee jaar na de afsluiting vestigden zich hier houtige pioniergegewassen. In de lage kommen gewone vlier, op de schorrand enkele wilgensoorten en duindoorn. De eerste jaren waren de houtige gewassen nog vrij onopvallend, inmiddels zijn het echter flinke struiken en bomen geworden en bepalen dus in toenemende mate het landschapsbeeld.

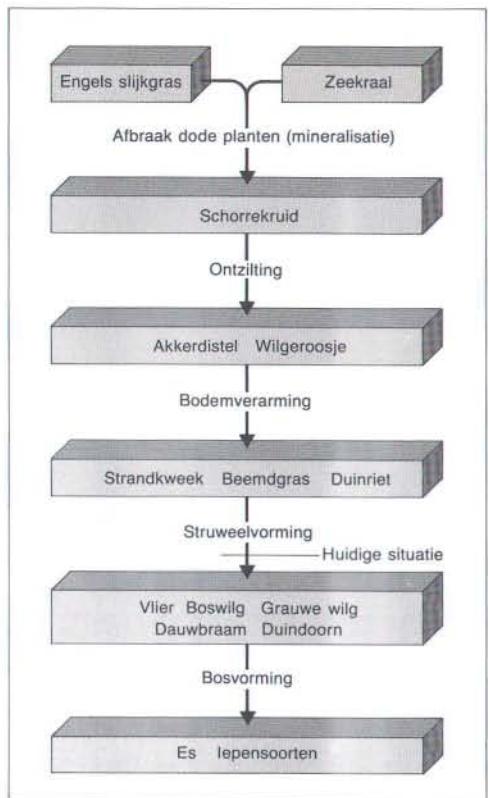
Het is gebleken dat de meeste struiken in de lage kommen even oud zijn. Deze houtige pioniersoorten hebben veel licht voor hun kieming nodig. Ze hebben zich dan ook voornamelijk gevestigd in de eerste jaren na de afsluiting toen door het afsterven van de zoutvegetaties plaatselijk de vegetatie open was. In de dichte ruigtekruidenvegetatie enkele jaren na de afsluiting was kieming voor deze soorten niet meer mogelijk. Op de schorrand bleef de vegetatie langer een open karakter behouden, zodat hier meer variatie in de leeftijd van de houtige gewassen zit. De laatste jaren heeft dauwbraam zich sterk uitgebreid. Deze waarschijnlijk minder uitgesproken lichtkiemer vestigde zich wat later dan de andere houtige soorten. De verwachting is dat de huidige vegetatie zich waarschijnlijk lange tijd zal kunnen handhaven en op de lange duur (tientallen jaren) zal overgaan in een essen-iepenbos (zie fig. 3).

In de hogere, oorspronkelijk beweide kommen met een kweldergrasvegetatie verliepen de ontwikkelingen anders. Ruigtekruiden zijn hier pas later, of op de meeste plaatsen helemaal niet dominant geworden. Kweldergras kon zich namelijk tot enige jaren na de afslui-

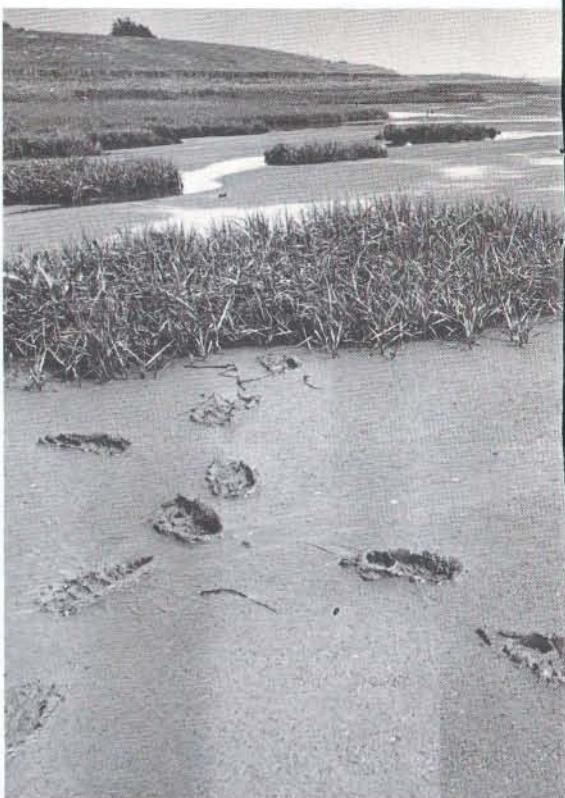
Links: Op deze verticale luchtfoto, genomen in opdracht van Staatsbosbeheer, is het noordelijke gedeelte van de Slikken van Flakkee (zie fig. 1) te zien. Met een beetje moeite is hierop het patroon te herkennen dat in figuur 2 geschat is. Oude kreken, hogere en lagere delen, schorren en slikken zijn te onderscheiden. De donker-groene stippen worden gevormd door opslag van vlier, de lichtgroene door opslag van wilg.

Rechts: Toen het getij wegviel, kon de bosvorming op de schorren waar geen schapen weidden, beginnen. Na verloop van tijd ontstonden er tussen de ruigtekruidenvegetatie bosjes wilgen en vlier.





Boven: Fig. 3. De successie in de lage kommen van het schor en op de schorrand, indien geen beheermaatregelen plaatsvinden. Kenmerkende plantensoorten zijn vermeld evenals de processen die de overgang veroorzaken.



Boven: Bij laag water kunnen delen van een zand- of slikplaat droog komen te liggen. Zoutplanten, zoals zeekraal en engels slijkgras, kunnen zich hierop blijvend vestigen. Door hun remmend effect bezinken meer slibdeeltjes in het water en het schor wordt hoger.

ting goed handhaven. Doordat het vegetatiedek gesloten bleef waren er nauwelijks mogelijkheden voor ruigtekruiden (lichtkiemers) om te ontkomen. De vitaliteit van het kweldergras liep echter na verloop van tijd door de zich wijzigende milieu-omstandigheden wel terug. Plaatselijk begon het af te sterven en konden ruigtekruiden zoals akkerdistel zich vestigen. Ongeveer tegelijkertijd begonnen zich echter andere grassoorten, zoals ruw beemdgras en engels raaigras, in de kweldergrasvegetatie te vestigen en later ook uit te breiden. Het vegetatiedek bleef dus gesloten omdat de ene grasoort door een andere werd vervangen. Later kwamen er ook een paar andere gras- en kruidensoorten bij. Zoals te verwachten was groeien in deze gedeelten van het voor-

malige schor nog bijna geen houtige gewassen. Door het gesloten blijven van het vegetatiedek kregen vlier en wilgensoorten geen kans. Alleen dauwbraam komt plaatselijk voor.

Op de zandige oeverswallen heeft de dwergstruik gewone zoutmelde zich de eerste jaren na de afsluiting goed kunnen handhaven. In 1975 werd hij echter grotendeels verdronken door de ruigtekruiden die op dat tijdstip in de lage kommen weelderig groeiden en vandaaruit kwamen opzetten. Daarna verloor de ontwikkeling ongeveer gelijk met de ontwikkelingen in de lage kommen en de schorrand. Gewone zoutmelde heeft zich echter nog steeds op beperkte schaal weten te handhaven.

De oorspronkelijke schorplanten kunnen zich dus langer handhaven naarmate hun



Ontwikkelingen op de platen

De drooggevallen platen bestaan voornamelijk uit kalkrijk zand, dat van lutumarm (arm aan slibdeeltjes) tot lutumrijk kan zijn. Na het wegvalen van het getij veranderde, net als bij de schorren, het karakter van de platen in snel tempo. In plaats van tweemaal per etmaal overspoeld te worden, ontstond plotseling een hydrologisch systeem van lagere grondwaterstanden in de zomer en hogere in de winter. Met het uitzakken van het grondwater trad doorluchting van de bovenste bodemlagen op en vond biologische afbraak (mineralisatie) van afgestorven bodemfauna plaats. Hierdoor kwamen mineralen (vooral stikstof) vrij die door koloniserende plantensoorten konden worden benut.

Met het regenwater spoelde in de herfst en winter het zout in de bodem naar beneden waardoor ontzilting optrad. 's Zomers kon echter een omgekeerde waterbeweging en herverzilting optreden, veroorzaakt door oppervlakkige uitdroging en capillaire werking. Het neerwaartse watertransport overheerste echter en er vormde zich in de loop van de tijd een zoetwaterlaag in de bodem. De hoge delen van de platen waren reeds het eerste jaar ontzilt, terwijl sommige andere delen nu nog steeds niet van hun zout ontdaan zijn. Uiteindelijk zullen alle gebieden buiten de directe invloedsfeer van het zoute meerwater ontzilt raken.

Het verloop van het ontziltingsproces werd ook bepaald door de bodemsamenstelling van de platen. Er is in de Grevelingen sprake van een textuurgradiënt, hetgeen karakteristiek is voor estuariene milieus. Vanaf de voormalige monding naar het oosten bestaat een overgang van grofzandige, lutumarme naar fijnzandige, lutumhoudende bodems. Zo'n gradiënt is ook aanwezig vanaf de centraal gelegen platen (de eilanden) naar de platen langs de randen van de Grevelingen. Naarmate de bodem fijnzandiger en lutumrijker is, verloopt de ontzilting trager. Zo was in 1979 van de oppervlakte van de Kabbelaarsbank (dicht bij de monding) minder dan 10 procent nog zout, terwijl van de Veermansplaat (ver van de monding) nog ongeveer 50 procent zout was.

Per plaat is de bodemsamenstelling meestal vrij uniform; plaatselijk komen echter sliblagen in de ondergrond voor, die, wanneer ze relatief dicht aan de oppervlakte liggen, de

groeiplaats hoger ligt. Dit geldt ook voor de soorten op de hoogste delen van de schor. De ten tijde van de afsluiting dominante soorten rood zwenkgras en strandkweek zijn nog steeds overheersend. Andere grassoorten, braam, akkerdistel en smalbladig kruiskruid hebben zich in geringe mate gevestigd en breiden zich slechts langzaam uit.

In het algemeen is het dus zo dat bij het droogvallen van een schor de pioniersoorten van de lagere delen het eerst verdwijnen, terwijl soorten van de hogere schordelen zich langer en sommige misschien blijvend kunnen handhaven. De hogere schordelen werden voor de afsluiting heel weinig overspoeld, zodat de afsluiting hier niet zulke grote veranderingen veroorzaakte.

ontzilting vertragen. Het zout uitspoelende regenwater kan door deze lagen niet goed weg zakken. Bovendien wordt tevens de vorming van een zoetwaterlaag in deze gedeelten sterk vertraagd; in de winter 'regenen deze gronden vol' waarbij het grondwater tot aan het oppervlakte stijgt en het neerslagoverschot bovengronds afstroomt.

De ontzilting in de oeverzones verloopt het langzaamst. De breedte van deze zones varieert van minder dan 10 meter tot meer dan 100 meter, afhankelijk van de hoogteligging en de helling. De ontziltingsgrens in de oeverzones wisselt nogal eens van plaats. De zoetwaterlaag in een plaat kan namelijk 's zomers door verdamping inkrimpen, waardoor zout meerwater ondergronds toestroomt. Door de capillaire werking treedt dan herverzilting op. Bovendien kunnen de oeverzones vooral in de winter bij een harde aanlandige wind regelmatig met meerwater overspoeld worden.

Verschillende terreintypen

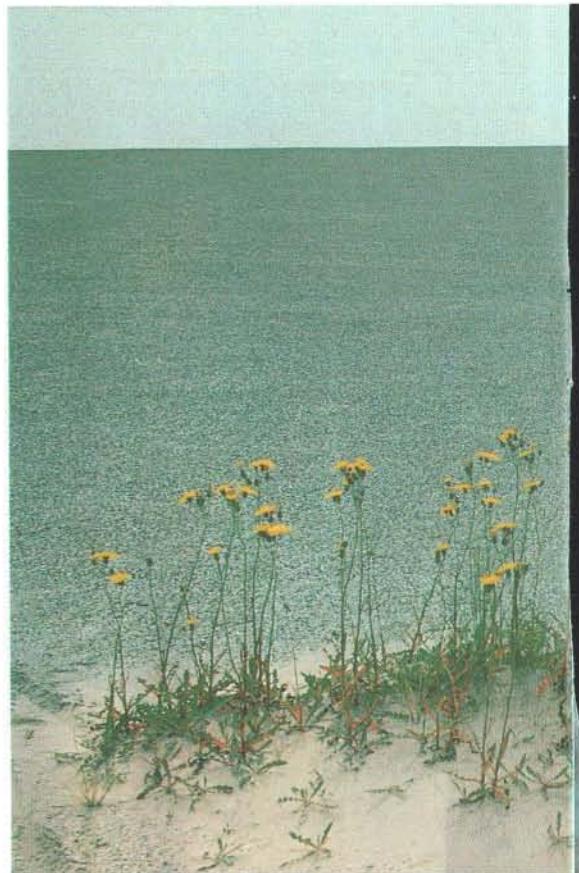
De hiervoor geschatste milieu-veranderingen op de platen hebben er toe geleid dat er thans een aantal verschillende terreintypen met karakteristieke vegetaties te onderscheiden is.

Droge gronden

Ten eerste zijn dat de hogere en drogere delen van de platen, die met elkaar enige honderden hectares beslaan. De ontzilting op de hoogste delen verliep zeer snel en nagenoeg zonder tijdelijke herverzilting in de zomerraanden. De uitdroging van bepaalde delen was gedurende de eerste zomer zo intens dat het zand begon te stuiven en het soms wel de Sahara leek. Op sommige plaatsen werden stuifschermen van rijshout geplaatst, waardoor lange duintjes zijn ontstaan.

Min of meer geschrokken van de zandstromen heeft men in het najaar van 1971 grote delen van de platen mechanisch ingezaaid met een gras/graanmengsel. Hierdoor zijn de vegetatie-ontwikkelingen sterk beïnvloed. Een klein gedeelte van de hogere gronden werd niet ingezaaid en hier kon de natuurlijke successie worden gevuld. De eerste kolonisten waren de van de schorren afkomstige soorten zee-kraal en schorrekruid. Hun zaad was nog door de getijstromen verspreid.

De snel afnemende voedselrijkdom van de

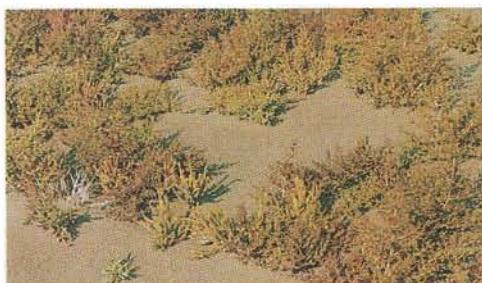


bodem kwam tot uiting in de jaar op jaar afnemende grootte van deze planten. In 1974 vestigde zich ook schijnspurrie in de open vegetatie en kwamen op de hoogste delen de eerste niet-zouttolerante soorten voor, namelijk verscheidene wilgeroosjessoorten. In het volgende jaar werden de éénjarige zoutplanten grotendeels vervangen door meerjarige, niet-zouttolerante soorten als wilgeroosjes, klein streepzaad, reukloze kamilie, fioringras en veldbeemdgras. Allemaal soorten waarvan de zaden gemakkelijk door de wind verspreid worden en kenmerkend voor storingsmilieus.



Links: Ook op de Deltadammen ontstaan natuurwaarden. Aan de Brouwersdam vindt door zandverstuiving duinvorming plaats. Plantengroei op de duintjes, van o.a. helm, zandhaver en akker-melkdistel (foto), bevorderen de duinvorming.

Geheel links onder: Gedurende de eerste jaren na de afsluiting speelden mossen een belangrijke rol in de successie. Over grote oppervlakten vormden mossen een gesloten tapijt. De verdroogde sporenkapsels van diverse knikmos (*Bryum*)-soorten kleurden 's zomers oranje en bruin.



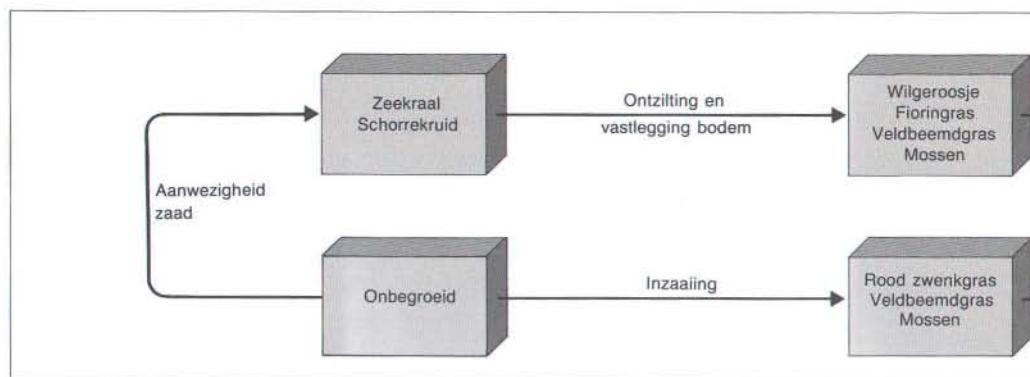
Midden: Zekraal was na het droogvallen van de plaat de eerste pionierplant.

Links: De zandige milieus waarin duindoorn groeit zijn voedselarm. Doordat zijn wortelknolletjes stikstof uit de lucht kunnen binden, kan deze struik hier toch uitbundig groeien.

In dat jaar was ook het bodemoppervlak voldoende tot rust gekomen voor de vestiging van mossen; er ontwikkelden zich dichte mostapijten. In de jaren na 1974 werden de grassen dominanter, er vestigden zich nieuwe soorten, onder andere duinriet, duindoorn en kruipwilg, en werd de moslaag minder dominant door toenemende concurrentie van de grassen en de kruiden.

In de ingezaaide delen zijn de eerste successie-stadia overgeslagen en zijn meteen enkele ingezaaide grassoorten gaan domineren. Thans zijn het ingezaaide rood zwenkgras en

veldbeemdgras nog steeds dominant en is op de meeste plaatsen het richel-patroon van de inzaaiing nog duidelijk herkenbaar. Direct na de inzaaiing koloniseerden mossen de kale vlakjes tussen de zaairichels. Samen met de ingezaaide grassen hebben deze dichte mostapijten waarschijnlijk remmend gewerkt op de vestiging van andere plantensoorten. Gedurende de eerste 10 jaar na de afsluiting was namelijk de soortenrijkdom in de ingezaaide delen duidelijk lager dan in de niet-ingezaaide delen. In 1976 vestigde duindoorn zich voor het eerst in de inzaaiingen.



De laatste jaren krijgen de ingezaaide delen het karakter van duingraslanden; naast enkele grassoorten zijn vooral een aantal gele composieten dominant, zoals klein streepzaad, biggekruid, thrincia en muizeoor. Duindoornstruwelen breiden zich sterk uit (vooral op de westelijk gelegen platen) en bepalen nu al het landschapsbeeld. Als er geen beheermaatregelen plaatsvinden zullen in de komende jaren grote delen van de westelijke platen geheel bedekt worden met duindoornstruwelen (zie de foto rechtsonder).

De duindoorn is in staat zich in het voedselarme zand te handhaven doordat hij stikstof uit de lucht kan binden met behulp van een in zijn wortelknollen aanwezige schimmel. (Een foto van zulke wortelknotjes is te zien op pag. 971 rechts). Van studies uit de duinen is bekend dat na een periode van optimale ontwikkeling die 10 tot 15 jaar duurt, door bodembiologische factoren degeneratie van duindoornstruwelen optreedt. Andere struiken, zoals liguster, vlier en egelantier gaan zich dan vestigen en uiteindelijk verdwijnt duindoorn geheel. Op den duur zou het struweel, na ontkalking en verzuring van de bodem, over kunnen gaan in een duin-berkenbos (zie fig. 4).

Achteraf beschouwd zijn de uitgebreide inzaaiingen geen goede ingreep geweest. Met het 'gericht laten stuiven' via het plaatsen van windschermen had veel meer reliëf en landschappelijke variatie kunnen ontstaan dan nu aanwezig is op de erg vlakke platen. Op plaatsen waar nu enig reliëf aanwezig is komen vaak bijzondere vegetaties voor, met soorten als bijvoorbeeld moeraswespenorchis en gevlekte orchis.

Vochtige gronden

Een tweede terreintype op de platen wordt gevormd door de vochtige zandgronden, die totaal meer dan duizend hectares groot zijn. Dit terreintype heeft gedurende de korte geschiedenis van de afgedamde Grevelingen voor vele botanische verrassingen gezorgd. Het was bijvoorbeeld tot enige jaren geleden ondenkbaar dat in Nederland over tientallen aaneengesloten hectares een vegetatie zou voorkomen waarin zeldzame duinplanten als bitterling en parnassia erg algemeen zijn. Tot de vochtige zandgronden behoren een aantal gebieden die sterk van elkaar verschillen in dynamiek van het grondwater en daardoor in vegetatiesamenstelling. Als overeenkomst hebben deze vochtige zandgrondgebieden echter dat ze lager gelegen zijn dan het vorige terreintype en langzamer ontzilt zijn; sommige delen bevatten nu zelfs nog wat zout.

Op de eerste plaats zijn er de gronden waarbij altijd voldoende vocht voor de vegetatie aanwezig is. De grondwaterstand is vrij stabiel doordat neerslag gemakkelijk door de ondergrond naar het boezemwater kan afstromen en 's zomers ondergrondse toestroming en de capillaire werking het waterverlies door verdamping compenseren. Op de tweede plaats zijn er de gronden met sterk fluctuerende grondwaterstanden, veroorzaakt door ondoorlatende lagen in de ondergrond. Verschillen in lutumgehalte, hoogte-ligging en dikte van de zoetwaterlens zijn de oorzaak van allerlei variaties in de twee hiervoor genoemde vormen van hydrologie. De grenzen tussen de verschillende typen vochtige zandgronden zijn echter niet scherp. Ze gaan geleidelijk in elkaar

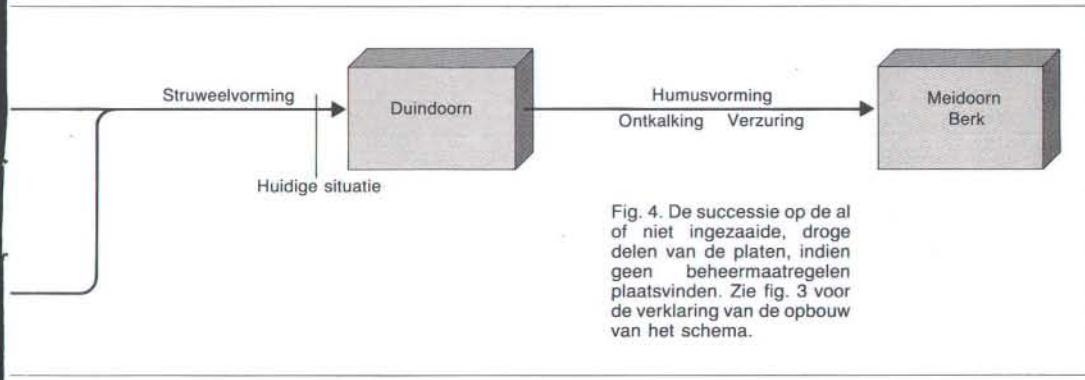


Fig. 4. De successie op de al of niet ingezaaide, droge delen van de platen, indien geen beheermaatregelen plaatsvinden. Zie fig. 3 voor de verklaring van de opbouw van het schema.

over met als gevolg dat er allerlei milieogradiënten zijn ontstaan. Zo zijn er thans op kleine en grote schaal zout-zoet en nat-droog gradiënten aanwezig die ruimtelijke verschillen in de vegetatie veroorzaken.

Met de geleidelijke ontzilting voltrok zich een successie in de tijd. Deze successie is echter ook nog steeds in de ruimte te aanschouwen. De oeverzone van de Slikken van Flakkee is honderden meters breed en wordt van het water af geleidelijk minder zout. Door verder gaande ontzilting schuift de gradiënt zout-zoet langzaam naar de waterlijn. De ontwikkelingsfases zijn hier als achter elkaar liggende gordels terug te vinden en schuiven met de ontzilting mee richting waterlijn.

De ontwikkelingen in de tijd, c.q. ruimte, vertonen in het begin overeenkomsten met die op de niet-ingezaaide hoge, droge delen; een eerste fase van zeekraal en schorrekruid en een tweede fase van zeekraal, schorrekruid en zilte schijnspurrie. De overgang van de eerste naar de tweede fase verloopt echter trager, afhankelijk van de ontziltingssnelheid. De derde fase blijft een zoutvegetatie met één- en meerjarige soorten als zeeaster, kweldergrassoorten, hertshoornweegbree, zeevetmuur en dunstaart. In de vierde fase vestigen zich minder zouttolerante en bij verdergaande ontzilting ook zoutmijdende soorten, onder andere fioringras, enige mossen, smalbladige rolklaver, wilgeroosjessoorten. Ook komen er soorten

Rechts: Op de onbeweide delen van de platen vindt thans massale struikontwikkeling plaats. De meest westelijk gelegen platen, de Kabbelaarsbank en de Hompelvoet, waren het snelst ontzilt. Hier zijn de struikvegetaties dan ook het verst ontwikkeld. Op de hogere delen domineert duindoorn, terwijl op de meer vochtige delen kruipwilg het meest algemeen voorkomt.



die kenmerkend zijn voor pionierstadia in jonge, vochtige duinvalleien, zoals fraai- en strandduizendguldenkruid, bleekgele droogbloem, krielparnassia en bitterling, dus voornamelijk éénjarige soorten.

Door ruimtelijke verschillen in ontziltingsnelheid is deze vegetatie thans sterk gedifferentieerd wat betreft soortensamenstelling. In vochtige, volledig ontzilte gebieden met een stabiel grondwaterregiem hebben zich meerjarige soorten als parnassia, late zegge en moeraswespenorchis (eveneens zeldzame soorten die kenmerkend zijn voor jonge duinvalleien) bij de eerder genoemde soorten gevoegd. Vooral parnassia heeft zich plaatselijk sterk uitgebreid, terwijl bitterling en de duizendguldenkruidsoorten over grote delen van de platen in grote getale voorkomen.

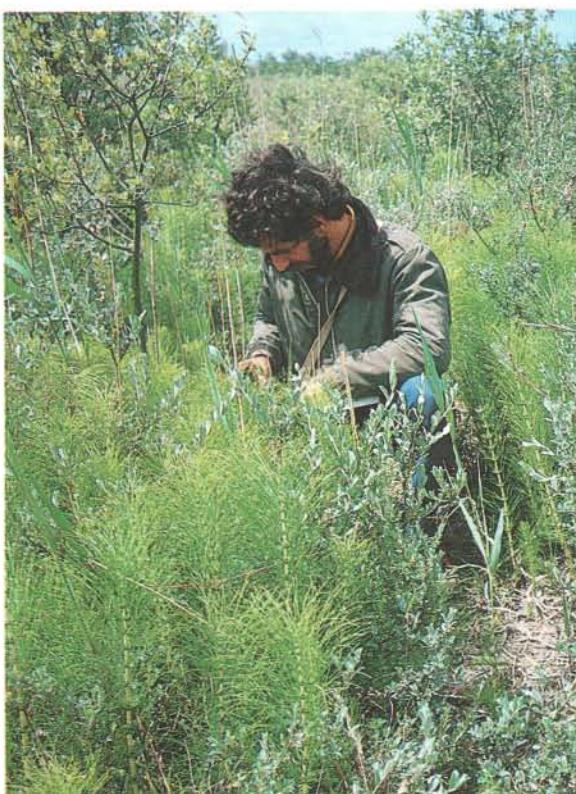
Achteraf gezien is het niet zo verbazingwekkend dat er vegetaties met allerlei soorten, kenmerkend voor vochtige duinvalleien, ontstaan zijn; de uitgangssituatie vertoont veel overeenkomsten met duinvalleien. Vochtige duinvalleien, thans zeldzame gebieden als gevolg van ondermeer de drinkwaterwinning uit de duinen, zijn voedselarme, vochtige milieus met vegetaties waarin vele karakteristieke en elders zeldzame soorten voorkomen.

Duinvalleien ontstaan wanneer bij voortzettende duinvorming op den duur een deel van het strand wordt afgesnoerd van de zee. In zo'n vallei vindt bij een doorgaande verbreding van de kust een geleidelijke ontzilting plaats en staat het grondwater in sommige gevallen zo hoog dat er een duinplas aanwezig is. Langs de randen van zo'n plas, tegen de voet van de duinen, kunnen zich vegetaties vestigen, die bestaan uit de hierboven genoemde kenmerkende soorten. Deze soorten komen alleen voor op een bepaalde plaats in de zoutzoet en/of nat-droog gradiënt (ze hebben een zgn. nauwe ecologische amplitude).

Duinen, en in het bijzonder duinvalleien, hebben een kleinschalig karakter. Delen hiervan met min of meer uniforme milieu-omstandigheden waaronder de vermelde kenmerkende plantensoorten kunnen voorkomen, zijn maximaal één hectare groot. Op de platen in de Grevelingen komen dergelijke uniforme milieu-omstandigheden echter over tientallen hectares voor. Vandaar dat de zeldzame duinplanten hier in dit stadium van de successie nu zo massaal voorkomen.

In het droge terreintype treedt duindoorn als dominante houtige soort op de voorgrond; in de vochtige terreinen is het vooral kruipwilg; hoewel deze thans nog duidelijk minder ver ontwikkeld is dan de duindoornstruwelen. In de wat drogere gebieden komt naast kruipwilg ook enige opslag van andere wilgensoorten en ook weer duindoorn voor. Zonder beheerraatregelen zal op de vochtige gronden binnen enkele jaren een dicht kruipwilgstruweel ontstaan, met hierin eventueel andere wilgensoorten en duindoorn, waardoor veel van de bijzondere thans aanwezige kruidenvegetaties zullen verdwijnen. Een successie die trouwens ook onder 'normale' vochtige duinvallei-omstandigheden kan plaatsvinden (zie fig. 5).

Onder: Het voorkomen van de reuzenpaardehaar is één van de vele botanische verrassingen in de Grevelingen. Het is een zeldzame soort die voornamelijk in Zuid-Limburg voorkomt. Hij groeit in de Grevelingen in een overgangsmilieu van brak, vochtig naar zoet, droog, samen met o.a. riet, kruipwilg en moeraswespenorchis.





Boven: De vegetaties op de platen in de Grevelingen zouden er over 10 tot 15 jaar zo uit kunnen zien. Dit is een hooiland op de zandige, brede oever van het Dijkwater, een reeds in 1953 afgedamde zijarm van de Grevelingen. In deze orchideeenwei zijn rietorchis en grote ratelaar de meest voorkomende soorten.

Oeverzones

Het derde en laatste terreintype is de zoute oeverzone. Dit zijn de gronden die onder blijvende invloed van het zoute meerwater staan en daarom niet ontziltten. In de meeste gevallen grenzen ze aan het vorige terreintype. Omdat in brede oeverzones de zout-zoet grens nog steeds verschuift is de uiteindelijke oppervlakte van dit terreintype nog niet duidelijk. De lage, open zoutvegetatie wordt reeds vanaf de afsluiting gevormd door zeekraal, schorrekruid en zilte schijnspurrie.

Hoger op de oever wordt de vegetatie wat meer gesloten en komen er onder andere kweldergrassen, zeeaster en zeevetmuur bij. In het najaar is van een afstand reeds te zien waar de

Onder: Fig. 5. Eén van de successie-lijnen op vochtige, langzaam ontzilte delen van de platen, indien geen beheerraatregelen plaatsvinden. Deze successie treedt overigens op dezelfde manier op in vochtige duinvalleien. Deze zijn meestal erg kleinschalig, terwijl in de Grevelingen tientallen hectares zo voorkomen.





Het beheer op grote delen van de drooggevallen gronden bestaat uit extensieve begrazing. Dit wordt o.a. uitgevoerd met een kudde Heckrunderen. Deze stammen af

van dieren die tussen 1920 en 1930 door de Duitser Heinz Heck gefokt zijn. Hij heeft toen geprobeerd via kruisingen tussen primitieve runderrassen het oerrund terug te fokken.

zoutgrens in de oeverzone's ligt; zeekraal en schorrekruid kleuren dan namelijk tijdens het afstervingsproces massaal donkerrood.

Op sommige plaatsen zijn, op de overgang van de zoute oeverzone naar de zoete gronden, bijzondere vegetaties ontstaan met niet eerder bekende soortencombinaties, zoals riet, moeraswespenorchis, kruipwilg en reuzenpaardenstaart. Dit is een zeldzame soort die voornamelijk van Zuid-Limburgse bronmoerassen bekend is. Waarschijnlijk schept zoet kwelwater op de platen in de Grevelingen vergelijkbare ecologische omstandigheden.

Beheer

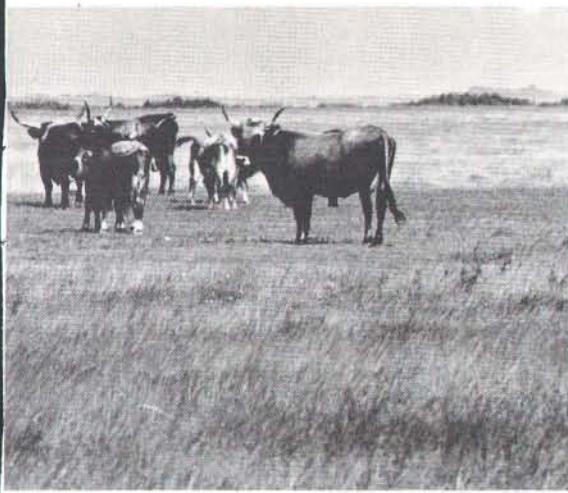
Bij het opstellen van beheerplannen voor de platen en de schorren in de Grevelingen speelden zowel botanische als ornithologische en in mindere mate recreatieve aspecten een rol. De platen zijn van groot belang als broedgebied voor kustvogels (onder andere sterns, meeuwen, kluten en plevieren) en weidevogels; tevens is dit gebied een pleisterplaats voor watervogels, andere doortrekkers en overwinteraars (onder andere eenden en ganzen). Deze ornithologische functies vereisen een landschapelijke openheid; kustvogels broeden alleen in lange en open vegetaties.

Uit het voorgaande is gebleken dat er thans

een zeer bijzondere en waardevolle kruidenrijke plantengroei aanwezig is, die echter bij een doorgaande successie grotendeels zal overgaan in een houtige vegetatie. Vandaar dat men voor de grootste delen van de platen en de schorren gekozen heeft voor een beweidingsbeheer als 'bestrijding van de successie'. Op sommige plaatsen bestaat het beheer uit een nog intensiere vorm van verschraling; hier wordt éénmaal per jaar de vegetatie gemaaid waarna het hooi wordt afgevoerd.

Daarnaast is voor een flink gedeelte van de platen en schorren gekozen voor een beheer van 'niets doen'. De successie zal hier leiden tot een bepaald type bos als climax-stadium. Het beweidingsbeheer wordt op extensieve schaal uitgevoerd met verschillende soorten vee; paarden, runderen en schapen, die elk hun eigen graasgedrag hebben.

Na verloop van tijd zullen veranderingen in soortensamenstelling van de begraasde kruidenrijke vegetaties plaatsvinden, veroorzaakt door voortgaande milieu-veranderingen. Na het droogvallen van de gronden hebben zich namelijk ook langzaam verlopende bodemprocessen (ontkalking, verzuring en humusvorming) ingezet. Het voorkomen van een ondiep wortelende soort als muizeoor op de hogere, drogere gronden geeft reeds lokale oppervlakkige verzuring aan.



ken, wat volgens deskundigen aardig gelukt is. De Heckrunderen kunnen zich 's zomers en 's winters zelf bedrijpen en kalven zonder menselijke assistentie.

Ook dan kunnen echter waardevolle vegetaties ontstaan, zoals blijkt uit de huidige plantengroei op vergelijkbare zandige terreinen die reeds veel langer ingepolderd zijn dan de Grevelingen. Hier komen orchideeenrijke vegetaties voor met rietorchis, grote ratelaar, zee-groene zegge, addertong en grote keverorchis. Deze zeldzame soorten zouden dus in de toekomst het beeld van de kruidenrijke vegetaties op de vochtige gronden in de Grevelingen kunnen gaan bepalen. De meeste zijn nu al lokaal aanwezig, maar naar Grevelingenmaatstaven nog op bescheiden schaal.

Zeldzaam is hier gewoon

Samenvattend kan gesteld worden dat na de afsluiting in relatief korte tijd de platen en schorren in de Grevelingen totaal van karakter zijn veranderd. Tal van bijzonder natuurlijke ontwikkelingen vonden en vinden op grote schaal plaats. Per gebiedje hebben deze ontwikkelingen vaak hun eigen specifieke karakter, vanwege verschillen in milieu-factoren als hoogte- en geografische ligging, hoeveelheid slijf en kalk, en korrelgrootte van het sediment. Naast de ornithologische waarden van de gebieden, die in een ander artikel zullen worden besproken, zijn de huidige en toekomstige botanische en landschappelijke waarden bijzonder hoog.

Ten eerste komen er thans honderden hectares kruidenrijke vegetaties voor die uniek zijn en die qua soortensamenstelling veel overeenkomst vertonen met de steeds zeldzamer wordende vochtige duinvalleien. Een aantal als zeldzaam te boek staande plantensoorten als bitterling, parnassia, fraai- en strandduizendguldenkruid, bleekgele droogbloem, moeras-wespenorchis en late zegge komen algemeen in deze vegetatie voor. Ook de toekomstige vegetatie van de gebieden die begraasd of gemaaid en gehoooid worden zal hoogst waarschijnlijk rijk aan (andere) bijzondere soorten zijn.

Ten tweede vindt thans over grote oppervlakten, via verschillende stadia van struweel-vegetaties, spontane bosvorming plaats. Op den duur zullen hier dus echte natuurlijke bossen voorkomen, iets wat we in Nederland nauwelijks meer kennen.

Literatuur

Beijersbergen, J., During, H.J., (1980). *Mossen op de Hompelvoet in de Grevelingen, ZW-Nederland*. Lindbergia 6, pag. 147-153.
Buth, G.J.C., Groenendijk, A.M., (1979). *Vegetatie en milieu op voormalige slik- en zandplaten in relatie tot de bedijksduur*. Studentenverslag nr. D10. Delta Inst. v. Hydrobiol. Onderz., Yerseke.
Joenje, W., (1978). *Plant colonization and succession on embanked sandflats*. Proefschrift R.U. Groningen.
Jong, D.J. de, Kogel, T.J. de, (1979). *Vegetatie-ontwikkeling op de Slikken van Flakkee*. Nota 79-11, Rijkswaterstaat, Deltadienst, Middelburg.
Loenen, M., (1983). *Deelplan Hompelvoet*. Rijrapport 1983 - 22 abg. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Deltagebied.
Mook, J.H., Toorn, J. van der, (1982). *Pionierplanten - Vegetatie-ontwikkeling in een IJsselmeerpolder*. Natuur en Techniek 50, 6, pag. 418-437.
Verhaar, D., Schenkeveld, B., Drost, H.J., (1983). *Prognose van de vegetatie-ontwikkeling op de drooggevallen gronden in het Deltagebied, in het bijzonder in de Grevelingen*. Rijrapport 1983 - 27 Abw. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Deltagebied.
Bronvermelding illustraties
Deltaphot, Middelburg: pag. 966.
G.J.C. Buth: pag. 970 onder.
C. van Dijk, Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Wevers Duin, Oostvoorne: pag. 971 rechts.
Alle overige opnamen zijn gemaakt door René Kleingeld, Delta-Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke.



VACCIN BEREIDING

Vaccinatie tegen infectieziekten berust op het opwekken van de produktie van antistoffen, c.q. van een cellulaire immuunrespons. Dit wordt gedaan door toediening van antigenen, afkomstig uit de ziekteverwekker. Uitgebreide vaccinatieprogramma's hebben een groot aantal besmettelijke ziekten praktisch doen verdwijnen. Door de daarmee samenhangende schaalvergroting kon de oude bereidingswijze van vaccins niet meer gehandhaafd blijven. Kleine flessen werden vervangen door kweekvaten van meer dan 100 liter. Om deze stap mogelijk te maken moesten vele hindernissen genomen worden. De nieuwste ontwikkelingen in de biochemie, met name de recombinant-DNA-techniek en de produktie van zgn. monoklonale antistoffen, maken de ontwikkeling van steeds zuiverder vaccins mogelijk.

Micro organismen in macro produktie

E.J. Ruitenberg

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
Bilthoven

In het verleden kon bij de productie van vaccins volstaan worden met relatief kleine glazen flessen, de zogenoemde Povitsky-flessen. Dat bracht veel handwerk met zich mee, dat steriel uitgevoerd moet worden. Thans vindt de productie op veel groter schaal plaats, op deze pagina zien we een Bilthoven-unit, zoals die wordt toegepast bij de bereiding van polio-vaccin.



Vaccinatie ter voorkoming van infectieziekten berust op de toediening van bepaalde componenten, *antigenen*, afkomstig van het voor de ziekte verantwoordelijke micro-organisme. Deze wekken bij de gevaccineerde een specifieke bescherming in de vorm van *antistoffen*, c.q. een cellulaire immuniteit op.

Reeds aan het einde van de 18e eeuw is het principe van vaccinatie door Jenner in praktijk gebracht door enting met koepokken (Van den Tweel, 1981). Aan het einde van de 19e eeuw heeft vooral Pasteur, onder andere met de ontwikkeling van een vaccin tegen hondsrolheid, op dit gebied baanbrekend werk verricht. Hoewel de eerste toepassingen van vaccinatie de bescherming tegen virusziekten betroffen, is voor systematische vaccinatie van grote bevolkingsgroepen in de eerste helft van de 20e eeuw toch eerst een aantal bacteriële vaccins ontwikkeld, onder meer tegen difterie, tetanus en kinkhoest. De bereiding van virusvaccins kwam pas goed op gang in het begin van de jaren vijftig met de ontwikkeling van een *in vitro* kweekmethode voor menselijke en dierlijke cellen, welke als substraat voor de virusvermeerdering nodig zijn. De bereiding van vaccins is dan ook nog een vrij jonge wetenschap die zich gedurende de laatste decennia sterk heeft ontwikkeld.

Na invoering van het Rijksvaccinatieprogramma tegen difterie, kinkhoest en tetanus in de jaren vijftig en de uitbreiding daarvan in de jaren zestig (poliovaccin) en zeventig (rode-hond- en mazelenvaccin), lijkt het alsof de belangrijkste infectieziekten in Nederland zijn overwonnen. In België heeft men in deze jaren een analoog programma opgezet met dezelfde resultaten. Mede door de organisatie van het entrogramma is een zeer hoog entpercentage bereikt, met als resultaat dat er een goede 'herd immunity' in de bevolking bestaat.

Toch is het zeker niet zo dat de ontwikkelingen in de vaccinbereiding stil staan of dat niet aan nieuwe vaccins wordt gewerkt. Mede door recente doorbraken op het gebied van de moleculaire biologie (de recombinant-DNA-techniek), de ontwikkeling van de zeer specifieke, zgn. monoklonale antistoffen (Haaijman, 1982) door middel van cel fusie en de verbetering in de bioprocesstechnologie is het vakgebied van de vaccinologie in een stroomversnelling gekomen. Daarnaast spelen nieuwe inzichten in de immunologie, onder andere de anti-

Ondanks de uitstroeiing van pokken worden door de Wereldgezondheidsorganisatie nog partijen pokstof uit verschillende landen in voorraad gehouden. Deze worden regelmatig door het RIVM gekeurd. De foto toont pokkenvaccin uit Kenya, Indië, de Sovjet-Unie, Thailand, China, Nieuw Zeeland en Cambodja.



geenpresentatie en -herkenning, de immuunregulatie en de lokale ten opzichte van de systemische afweer een belangrijke rol bij de toepassing van de nieuwe biologische produkten.

Bacteriële vaccins

De meeste bacteriële vaccins bestaan of uit een suspensie van gedode bacteriën, of uit een gezuiverd cultuurfiltraat (toxoïde). BCG (Bacillus Calmette Guérin) is praktisch de enige uitzondering; het betreft hier een suspensie van levende bacteriën.

De eerste stap bij de bereiding van bacteriële vaccins is het kweken van het betreffende micro-organisme. Bij de bacteriële vaccins op basis van toxoïden is het antigen een toxine (gifstof), dat door de bacteriën in de cultuurvloeistof wordt afgescheiden. Verwijdering van de cellen door filtratie of centrifugatie levert dan een toxine-oplossing, verontreinigd met andere bacteriële produkten en voedingsbodemcomponenten. Met behulp van formaline wordt het toxine omgezet in een zogeheten toxoïde, dat nog wel een immunologische reactie, maar geen ziekte meer veroorzaakt. De voornaamste toxoïde entstoffen die worden toegepast, zijn difterie- en tetanustoxoïde.

Er is nog een groep vaccins, waar een gezuiverte bacteriële component, geen toxoïden, wordt toegepast, te weten de polysacchariden van o.a. *Neisseria meningitidis*, *Haemophilus*



influenzae en *Streptococcus pneumoniae*. Deze bacteriën zijn de verwekkers van resp. hersenvliesontsteking, griep en longontsteking. Van de laatste is thans een vaccin in de handel, dat is samengesteld uit gezuiverde polysacchariden (lange suikerketens) van de veertien meest voorkomende pneumococcotypen. De opwerking geschiedt door het polysaccharide dat van de celwand is losgekomen, na verwijdering van de bacteriën, neer te slaan en dan aan een uitgebreide zuivering te onderwerpen, waarbij de verwijdering van andere toxische stoffen van groot belang is.

De voornaamste factoren die een rol spelen bij de bereiding van bacteriële vaccins zijn:

- De stamkeuze: voor de meeste vaccins zijn bacteriestammen bekend met een hoge antigenopbrengst. Ze worden algemeen toegepast. Verdere stamselectie is een punt van voortdurend onderzoek;
- De voedingsbodem: een hoge antigenopbrengst wordt slechts bereikt indien men bij de bacteriekweek een geschikte voedingsbodem gebruikt;
- De kweekmethode: in nauwe samenhang met het vorige punt wordt gestreefd naar een kweekmethode waarmee in zo kort mogelijke tijdsduur een zo hoog mogelijke opbrengst aan antigen wordt verkregen;
- De opwerking: deze is vooral van belang indien een reeks van concentratie- en zuiveringsstappen wordt toegepast.

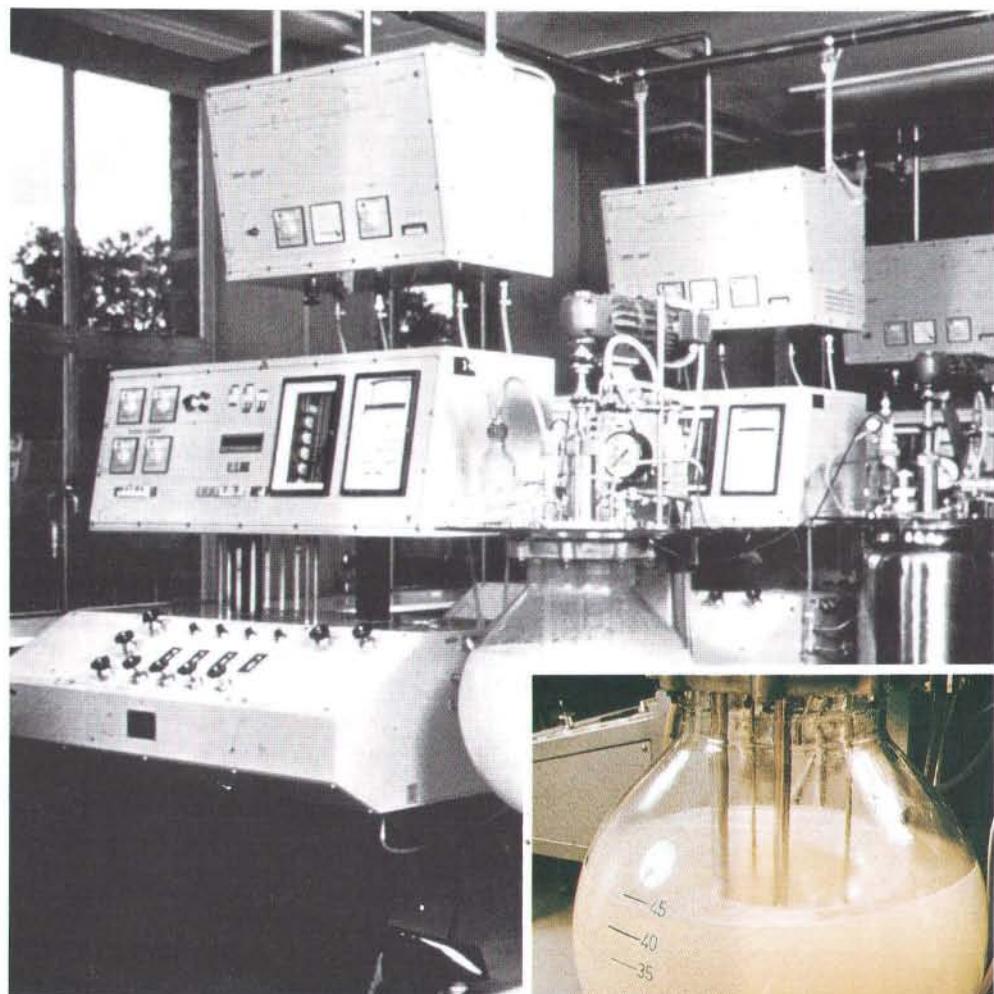
Bij toepassing van de juiste combinatie van bovenstaande factoren worden opbrengsten aan gewenst antigen verkregen die variëren van 5 tot 10 procent van de biomassa voor *Neisseria meningitidis* en 10 tot 20 procent voor *Clostridium tetani* en *Corynebacterium diphtheriae*, tot ca. 50 procent voor sommige typen *Streptococcus pneumoniae*.

Virusvaccins

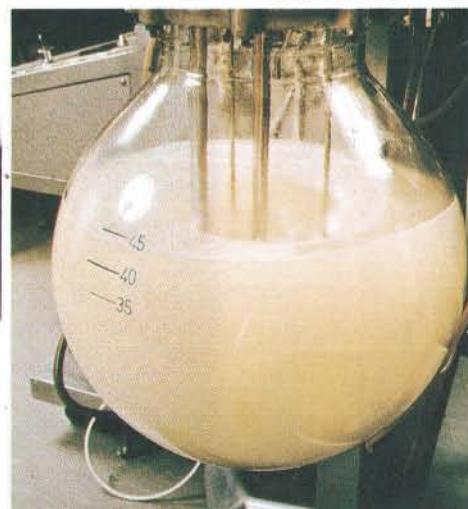
Bij de virusvaccins worden zowel levende vaccins, bereid van verzwakte virusstammen (mazelen, rodehond, bof), als geïnactiveerde, afkomstig van volvirulente stammen (kinder-verlamming), toegepast. Bij de bereiding van virusvaccins is de eerste stap het aankweken van het betreffende virus. De meeste pathogene (ziekterverwekkende) virussen vermeerderen zich in menselijke en dierlijke cellen. Aanvankelijk werden voor de virusvermeerdering levende dieren gebruikt. Bekende voorbeelden hiervan zijn het aankweken van pokkenvirus op de huid van kalveren en van rabiësvirus (hondsdolheid) in de hersenen van muizen, konijnen, schapen en geiten. Moderner was reeds het aankweken van het virus in stukjes dierlijk weefsel, die in een suspensie zijn gebracht. Deze zgn. Maitlandculturen worden nog steeds gebruikt bij o.a. de bereiding van mond- en klauwzeervaccin op het tongepitheel van koeien.

De grote doorbraak op het gebied van de virusvermeerdering kwam echter met de ontwikkeling van de *in vitro* kweek van menselijke en dierlijke cellen op glas, de zgn. monolayercultuur, in het begin van de jaren vijftig. Al snel bleek dat bepaalde dierlijke cellen zich ook in suspensie konden vermeerderen. Het betrof hier echter veelal cellen die zich als tumorcellen gedroegen. Om die reden mochten

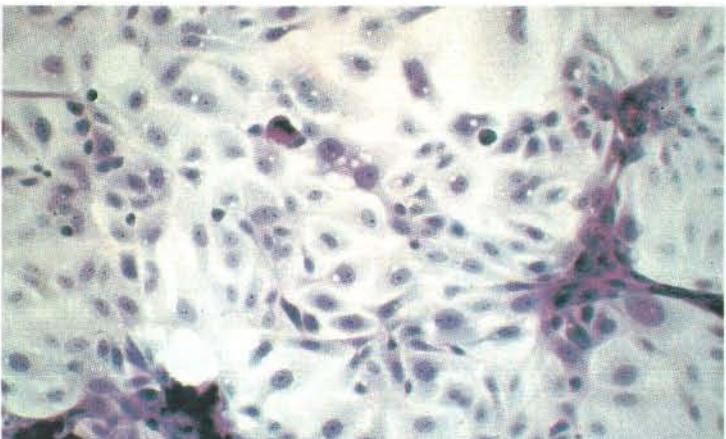
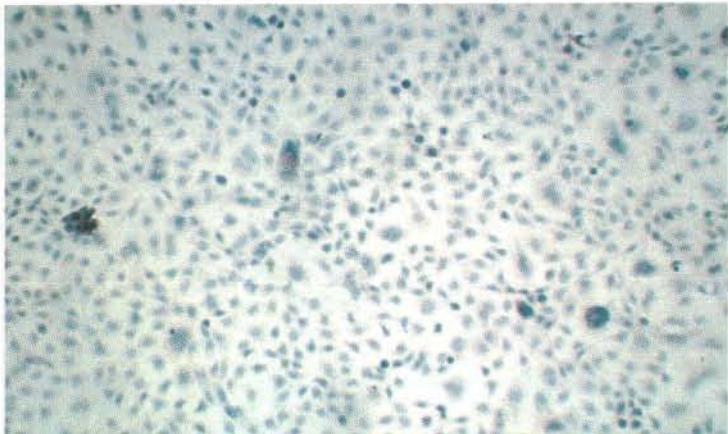
ze niet worden gebruikt bij de bereiding van virusvaccins voor toepassing bij de mens. Men vreesde namelijk dat de eigenschappen van deze cellen, al dan niet ingebouwd in het erfelijk materiaal van het virus, met het vaccin werden overgedragen. Tot voor kort waren voor de viruskweek uitsluitend normale cellen toegestaan. Hiertoe behoren de primaire cellen en de menselijke diploïde celstammen.



Boven: Een Bilthoven-unit met een kweekvat van 50 liter. Hierin kunnen bacteriën onder nauw gecontroleerde omstandigheden worden gekweekt. De verkregen cul-



tuur dient als uitgangsmateriaal voor de bereiding van vaccins. De inzet laat zien dat de bacteriën zeer homogeen verdeeld zijn in de gevoerde suspensie.



Rechtsboven: Primaire knijneniercellen, die zich aan de glaswand van de kweekflessen hebben gehecht, vormen een monocellulaire laag, een zogenaamde monolayer.

Rechts: Dezelfde cellaag als hierboven. Nu echter is er rubellavirus op geënt. Dit vermeerderd zich ten koste van de cellen en vormt het basismateriaal voor het rubellavaccin.

Primaire cellen zijn cellen rechtstreeks afkomstig van gezond dierlijk weefsel, die na opsplitsing van het weefsel in afzonderlijke cellen eenmaal *in vitro* zijn doorgekwekt. Menselijke diploïde cellen zijn afkomstig van embryonaal weefsel. Aangetoond is dat ze bij doorkweken *in vitro* hun normale diploïde karakter behouden. In tegenstelling tot de tumorcellen kunnen ze echter niet onbeperkt *in vitro* worden doorgekwekt, maar stopt de celgroeい na ongeveer 50 celdelingen.

Aanvankelijk vond de productie van poliovaccin op primaire niercellen van geïmporteerde apen plaats, de laatste jaren worden uitsluitend gefokte apen gebruikt. De wijze van isoleren van de niercellen is sterk verbeterd en het is mogelijk gebleken om verder (tot drie passages) doorgekweekte niercellen voor de vaccin-

bereiding te gebruiken. Hierdoor kon het aantal voor productie en controle benodigde apen sterk verminderd worden. Waren in de jaren zestig omstreeks 5000 apen per jaar nodig, thans zijn dat nog slechts 30-40 apen per jaar. Verdere verbetering van het vaccin is mogelijk door toepassing van continue celllijnen, de recombinant-DNA-technologie en onderzoek naar de bereiding van een synthetisch vaccin (zie pag. 989).

Zowel primaire als menselijke diploïde cellen kunnen zich *in vitro* alleen vermeerderen indien ze zich kunnen hechten aan een geschikt dragermateriaal, zoals glas en bepaalde plastics (polystyreen). Aanvankelijk was dit een sterk beperkende factor voor het op grote schaal kweken van deze cellen. Met de ontwikkeling van de zgn. microcarriercultuur welke



Boven: Naast de kweek in Povitsky-flessen worden ook wel vaccins bereid in de zgn. rolculturen. De ronde flessen met de cellen langs de wand worden langzaam rondgedraaid, zodat er een intensief contact plaatsvindt tussen cellen en virus. Hierdoor bereikt men met minder cellen een hogere virusopbrengst dan met de plat liggende Povitsky flessen.

Rechts: De Bilthoven-unit met roestvrijstaal fermentoren van 150 en 300 liter voor grootschalige vaccinproductie. Via de leidingen langs het plafond wordt de suspensie in een gesloten systeem naar de centrifugatiekamer geleid.

op pag. 986 zal worden besproken, is ook dit probleem tot een oplossing gebracht.

Bof-, mazelen-, pokken- en rodehondvaccins zijn levende virusvaccins. In Nederland wordt het geïnactiveerde poliovaccin zoals ontwikkeld door Salk toegepast. In België is dit ook het geval. Ook het rabiesvaccin is een geïnactiveerd vaccin. Bij de levende virusvaccins is het opwerkingsproces over het algemeen vrij eenvoudig. Begrijpelijkerwijze worden hoge eisen gesteld aan de zuiverheid en houdbaarheid. Teneinde de houdbaarheid te verhogen, worden deze vaccins meestal gevriesdroogd; het poliovaccin vormt hierop een uitzondering.

Bij de geïnactiveerde virusvaccins is na het aankweken van het virus een concentratie en zuivering van de virussuspensie wenselijk. Hierna wordt het virus door behandeling met formaldehyde (poliovaccin) of bèta-propio-lacton (rabiesvaccin) geïnactiveerd.

Grootschalige produktie

De bereiding van vaccins op grote schaal is pas na het opzetten van systematische vaccinprogramma's noodzakelijk geworden. Terwijl aanvankelijk de benodigde bacteriën en virusen werden gekweekt in relatief kleine glazen flessen en de schaalvergrooting op een groter aantal flessen neerkwam, is men in de laatste decennia ertoe overgegaan *homogene culturen* te gebruiken. Onder homogene culturen wordt hier verstaan een kweekmethode, waarbij de bacteriën of weefselcellen homogeen verdeeld in een geroerde suspensie aanwezig zijn. Hierbij werd deels geprofiteerd van de theorieën en de technieken, ontwikkeld in de jaren veertig en vijftig voor de antibioticabereiding. Bij vacinebereiding gaat het weliswaar om een kleinere schaal (max. 1000 liter ten opzichte van de 100000 liter waarmee bij de antibioticabereiding wordt gewerkt), maar vaak om een ge-compliceerder proces, waarbij zeer stringente eisen van asepsis en zuiverheid gelden.

Toch is de behoefte aan schaalvergroting, door het op gang komen van systematische en massa-vaccinaties, slechts één reden om tot bereiding in grotere porties over te gaan. Tegelijk met de voor schaalvergroting noodzakelijke verbetering van de methodieken, kan namelijk tegemoet worden gekomen aan de behoefte de kwaliteit van het eindproduct te verbeteren.

Men kan in een homogene cultuur metingen verrichten en eventueel regelingen toepassen, die bij de niet-homogene kweek onmogelijk waren. Een andere factor bij de schaalvergroting is het bereiken van 'consistency'. Hieronder wordt verstaan de voortdurende bereiding van een eindproduct van goede kwaliteit, zonder dat tussendoor produkten van mindere kwaliteit worden bereid.

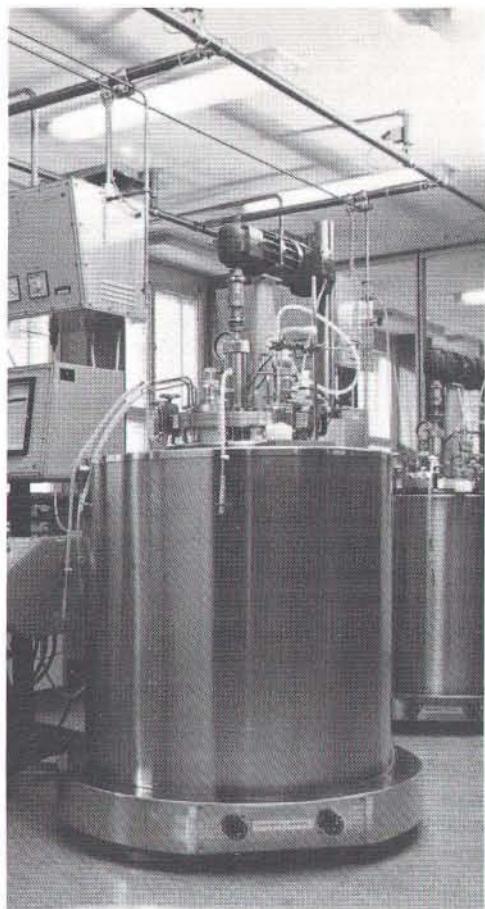
Unit Process

Aan de door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) in Bilthoven door van Hemert gevolgde benadering van vaccinbereiding is het etiket 'Unit Process', geleend van de chemische technologie, meegegeven. Hiermee wordt aangeduid dat de procedures voor bereiding van vaccins onderling een aantal karakteristieke eigenschappen gemeen hebben.

De problemen die zich voordoen bij het opvoeren van het volume van kweken en opwerken, dienen niet te worden onderschat. Bij de overgang naar een homogene cultuur is de aanpassing van het betreffende micro-organisme aan de groei in homogene suspensie de grootste zorg. Voor vele bacteriën zoals kinkhoest, cholera en tyfus, bleek dit eenvoudig te zijn. Moeilijker was het echter voor BCG (moeilijk te suspenderen, geen losse cellen). Ook bij gasvormend *Clostridium tetani* waren problemen te overwinnen, die in dit geval voornamelijk de gasdiffusie betroffen. Veel moeilijker is de situatie bij weefselcellen, als substraat voor virussen.

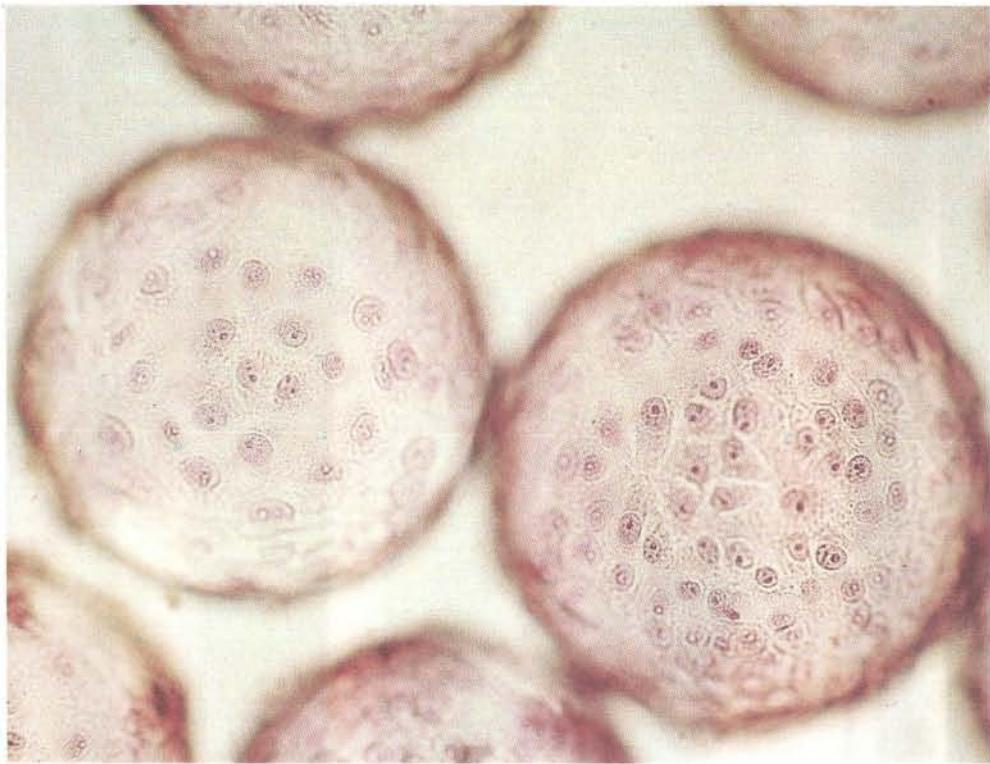
Bij vergroting van een kweekvat neemt de verhouding oppervlakte : inhoud af. Dit betekent dat, indien een kweekproces exotherm verloopt, de warmteafvoer moeilijker is. De kweek van *Salmonella typhi*, waarbij veel glucose wordt omgezet, dreigt om die reden reeds op een schaal van 250 liter uit de hand te lopen. Het afnemen van genoemde verhouding heeft ook invloed op de gaswisseling aan het oppervlak van de cultuur en veroorzaakt daarbij specifieke problemen.

Een tweede effect van schaalvergroting is de grotere tipsnelheid van de roerder, nodig om hetzelfde roereffect te bereiken. Dit kan tot beschadiging van de bacteriecellen leiden. Bij vele bacteriën is dit gelukkig niet merkbaar. Alleen BCG blijkt in dit opzicht gevoelig.



De zuurstofoverdracht, of vollediger gezegd de gaswisseling, is de factor die het meest frequent tot procesverschillen bij schaalvergroting aanleiding geeft. Dit is begrijpelijk, omdat de oplosbaarheid van zuurstof in water, vooral in relatie tot het zuurstofverbruik in een snel groeiende cultuur, zeer gering is. Het systeem kan dus gemakkelijk een ander evenwicht innemen, temeer daar, zoals gezegd, de oppervlakte van grotere kweekvaten kleiner is ten opzichte van de inhoud en het stromingspatroon heel moeilijk hetzelfde is te houden.

Er bestaat een aantal principiële verschillen tussen de apparatuur die in Bilthoven voor de vaccinbereiding is ontwikkeld en die welke door anderen is ontwikkeld voor experimentele kweken in de antibioticabereiding. Daar heeft men vaak te maken met schimmels en



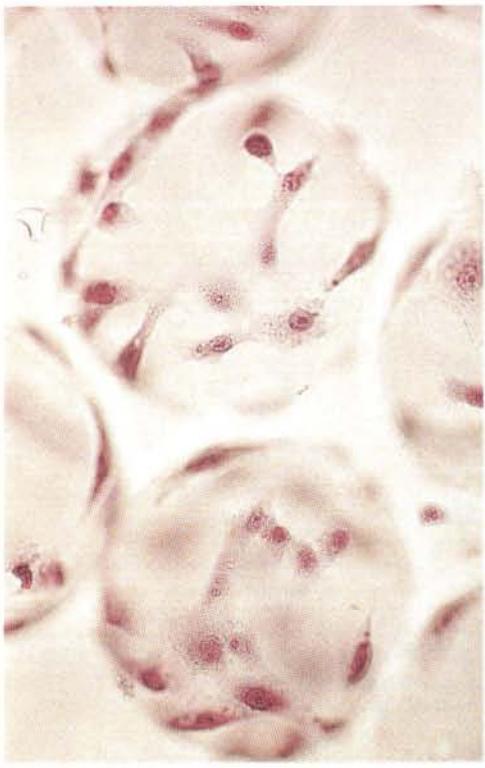
Boven: Een volgroeide celcultuur bedekt, vier dagen na enting, het oppervlak van een zogenaamde microcarrier. Toepassing van deze kleine kunststof bolletjes in een Bilt-

hoven-unit leidt tot een drastische vergroting van het voor celkweek beschikbare oppervlak. Dit is een noodzakelijke voorwaarde voor schaalvergroting bij de vaccinbereiding.

eencellige streptomycten, die ten aanzien van homogenenisering en beluchting bijzondere eisen stellen. Vortex-aeratie, het inbrengen van lucht door zo snel te roeren, dat een draaikolk ontstaat, is daarbij geen haalbaar systeem. Toch heeft deze methode bij vaccinbereiding voordelen. Zo ontstaat minder schuim, het geen tegemoet komt aan de aversie om bij vaccinbereiding een antischuimmiddel toe te passen. Ook zijn bij vortex-aeratie geen keerschotten nodig, die het grondig schoonmaken van het kweekvat ernstig bemoeilijken. Het is nu gelukt om volgens dit principe te blijven werken, ook in de recentelijk ontwikkelde grotere roestvrijstalen vaten van 140 en 350 liter kweekvolume, terwijl wordt verwacht dat dit zelfs bij vaten van 1000 liter nog het meest verkeerswijze principe zal blijken te zijn.

Microcarrier

Evenals bij de bereiding van bacteriële vaccins kan de homogene cultuur als de meest ideale kweekmethode worden beschouwd voor schaalvergroting bij de bereiding van virus-vaccins. Een probleem is echter dat de cellen waarop het virus zich moet vermeerderen, zich niet vrij in de suspensie vermeerderen, een eerste vereiste voor de kweek in homogene cultuur, maar alleen na hechting op een hiervoor geschikte drager. Aanvankelijk werden de cellen uitsluitend gekweekt op de bodem van platte flessen in een monocellulaire laag, de zgn. monolayer. Evenals bij de kweek van bacteriën op vaste voedingsbodem is deze kweekmethode niet geschikt voor toepassing op grote schaal. Verder is het beschikbare oppervlak



Boven: Deze opname is gemaakt kort na de enting van de cellen. Slechts hier en daar hebben zich cellen aan de microcarrier gehecht.

een beperkende factor voor een goede celvermeerdering daar bij de meeste cellen de celgroei wordt geremd, zodra de drager met een monocellulaire laag bezet is.

Om tot schaalvergroting te komen zijn diverse kweeksystemen ontwikkeld, waarbij het kweekoppervlak wordt vergroot door in het kweekvat een groot aantal platen van glas of een ander geschikt dragermateriaal te plaatsen. Met deze kweekunits is schaalvergroting echter slechts in beperkte mate mogelijk. Bovendien missen deze systemen de mogelijkheid voor meting en controle van de kweekomstandigheden zoals bij de homogene cultuur.

Een oplossing hiervoor werd door van Wezel gevonden in de vorm van de 'microcarrier'-cultuur. Hierbij worden de cellen gekweekt op DEAE-Sephadex bolletjes, microcarriers, wel-

ke door middel van roeren in suspensie worden gehouden. Hoewel het systeem geen losliggende cellen geeft, zoals voor een theoretisch ideaal homogeen systeem zou zijn vereist, kunnen in de praktijk alle eigenschappen van zo'n ideaal systeem aan de microcarriercultuur worden toegeschreven. Tevens is het kweekoppervlak in vergelijking met dat bij de kweek in platte flessen vijf- tot tienmaal zo groot. Bovendien kunnen celmateriaal en cultuurvloeistof gemakkelijk van elkaar worden gescheiden door de begroeide microcarriers met behulp van een zeef in het kweekvat te houden. Dit laatste is vooral van belang bij het verversen van de cultuur en bij de overgang van cel- naar viruskweekmedium.

Voor de microcarrierculturen kan dezelfde kweekapparatuur worden gebruikt als voor de kweek van bacteriën. Het enige essentiële verschil is de roersnelheid. Deze moet veel lager zijn, om te voorkomen dat de cellen worden beschadigd en door te sterke stroming loslaten van de bolletjes. Door de lage roersnelheid wordt de zuurstofoverdracht te gering, vooral bij grotere kweekvolumina. Om de zuurstofconcentratie op peil te houden, wordt het gasmengsel daarom door de cultuur geblazen, waarbij flotatie (opdrijven) van de microcarriers dient te worden voorkomen.

De microcarrier-kweekmethode is vooral van belang voor die bereidingsprocessen, waarbij grote hoeveelheden virussuspensie nodig zijn. Voor de bereiding van geïnactiveerde vaccins zoals het poliovaccin, is dit de meest geschikte kweekmethode. Zij wordt dan ook voor de routineproductie van geïnactiveerd poliovaccin gebruikt. Voor de vaccins bestaande uit levend verzwakt virus is de benodigde hoeveelheid over het algemeen kleiner.

Opwerken

De ontwikkeling van kweekmethoden op grote schaal heeft tot gevolg dat de opwerkingstechnieken waarmee de gekweekte cellen uit de suspensie worden gehaald, moeten worden aangepast. Deeltjes groter dan $0,5 \mu\text{m}$, zoals bacteriën, worden geoogst door middel van centrifugatie. Bij deeltjes kleiner dan $0,5 \mu\text{m}$, zoals virussen en toxines, wordt de cultuurvloeistof geoogst en wel door middel van filtratie. Aansluitend hierop volgt een inactivering of detoxificatie en indien mogelijk een

zuivering. Bij vaccinbereiding in het klein worden bacteriesuspensies meestal geoogst door middel van centrifugatie in hoeveelheden van 500 tot 1000 ml. Bij een kweekvolume van 150 l of meer betekent dit dat 150 tot 300 flessen moeten worden gecentrifugeerd. Voor het centrifugeren van grote volumina ligt het gebruik van een continue centrifuge voor de hand. Zo'n centrifuge, die enige honderden liters per uur kan verwerken en waaruit de geconcentreerde suspensie aseptisch kan worden afgetapt, is op het RIVM met succes ontwikkeld. Bij filtratie doet zich de gelukkige omstandigheid voor, dat bij schaalvergroting een voudigweg een filtereenheid met een groter filterend oppervlak kan worden gekozen. Ook hier kan de genoemde continue centrifugatie worden toegepast.

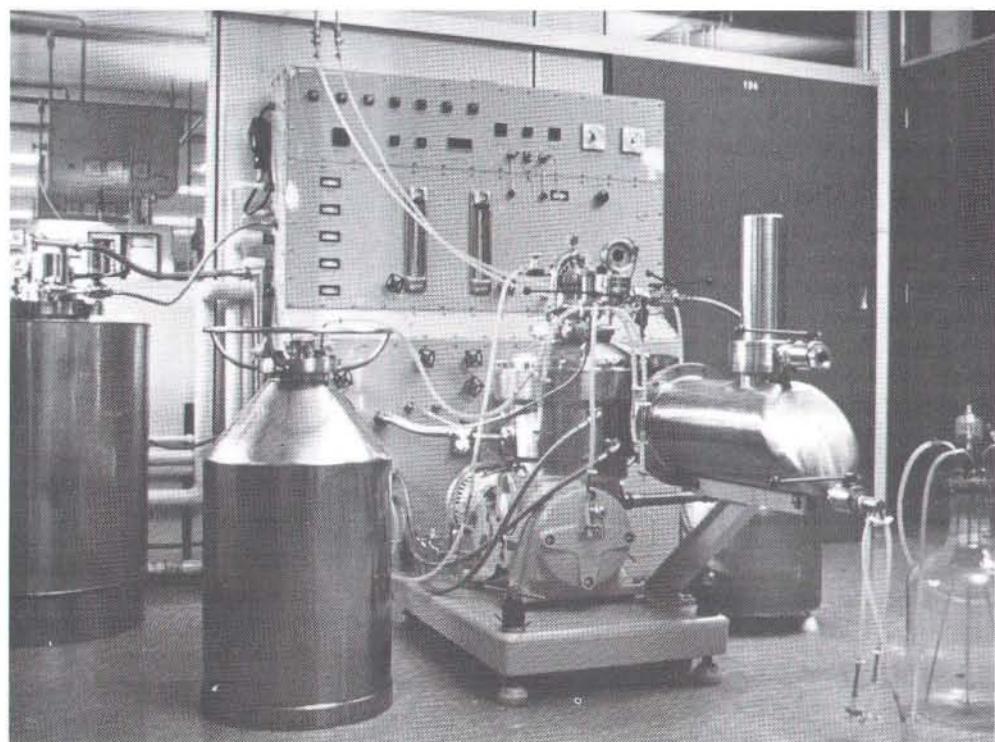
Onder: Centrifugage en filtratie zijn belangrijke hulpmiddelen bij het winnen van bacteriën, virussen en toxines uit de suspensies van gekweekte cellen. Grootchalige vaccin-productie maakt aanpassingen van deze hulpmiddelen noodzakelijk. Eén daarvan is de op het RIVM ont-

Bij vaccins bestaande uit bacteriën worden de cellen na de oogst gedood door middel van verhitten of met behulp van een chemische stof. Daar men, na centrifugeren, meestal een nieuwe suspensie met een kleiner volume maakt, wordt deze operatie nooit een beperkende factor bij schaalvergroting.

Om bij cultuurfiltraten, voor toxoiden en virusvaccin, tot een handzaam volume te komen, is concentratie van de cultuurvloeistof gewenst. Bij het hiervoor toegepaste principe van ultrafiltratie wordt thans meestal gebruik gemaakt van het 'hollow-fiber' systeem. Voordelen van dit systeem zijn de hoge filtersnelheid en de mogelijkheid de filterpatronen herhaalde malen te gebruiken.

Na deze concentratie is de zuiveringsstap meestal geen grootschalig proces meer en de

wikkeldé continue centrifuge-installatie. Het apparaat wordt met behulp van stoom gesteriliseerd om kiemvrije verwerking van de suspensies mogelijk te maken. Dank zij dit apparaat is het niet nodig de inhoud van een kweekvat eerst in kleinere flessen over te gieten.



toegepaste biochemische technieken, zoals precipitatie (neerslaan) en kolomchromatografie, worden dan ook op laboratoriumschaal uitgevoerd.

Een relatief groot volume (150-300 l) wordt wel weer toegepast, zodra — met geconcentreerde componenten en een verdunningsvloeistof — de zogenaamde combinatievaccins (o.a. difterie, kinkhoest, polio, tetanus (DKT8)), worden bereid, voorafgaande aan de afvulling in flesjes of ampullen. De hiervoor in het RIVM ontwikkelde apparatuur sluit nauw aan bij de roestvrijstalen fermentoren van dezelfde maat. Het grote voordeel van een dergelijke grote homogeen gemengde hoeveelheid is, naast grotere bedrijfsefficiëntie, ook het geringere aantal dure (biologische) controletests dat nodig is.

Onder: Apparatuur voor zuivering van het poliovirus door middel van gelfiltratie. In de donkere band zijn de onzuiverheden; zoals medium en serum-componenten gescheiden van de virusfractie, die daarna nog een zuivering via een ionenwisselaar ondergaat.



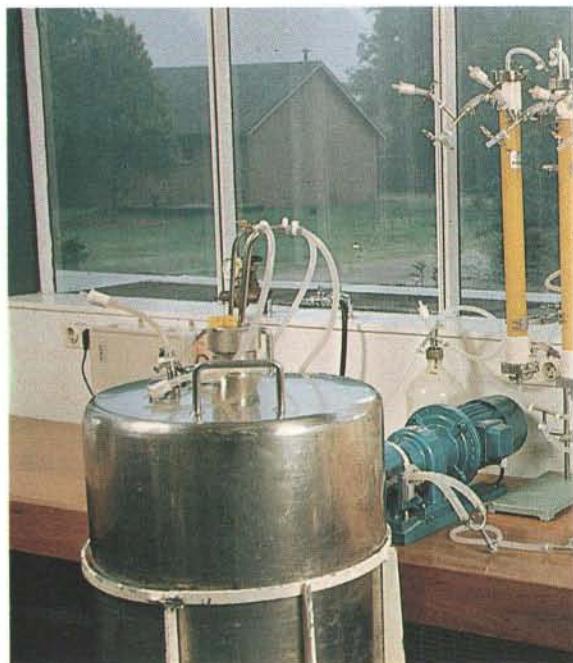
Recombinant-DNA- en synthetische vaccins

De moderne biotechnologische ontwikkelingen op het gebied van monoklonale antistoffen voor de isolatie, identificatie en zuivering van belangrijke antigenen en de productie van antigenen met behulp van recombinant-DNA-technieken en biochemische synthese hebben een versnelling op het gebied van de vaccinologie teweeg gebracht. Het ziet er naar uit dat het belangrijkste doel van immunisatie dichter binnens bereik komt, namelijk de chemische structuur van antigenen vast te stellen, deze te modificeren om het immunologische effect te verbeteren en tenslotte een beter inzicht te krijgen in de immuunrespons, die nodig is voor bescherming.

Het is duidelijk dat deze aanpak vooral van belang is in die gevallen waar het zeer moeilijk of geheel onmogelijk is een bacterie, virus of parasiet *in vitro* te kweken. Als voorbeeld kan het hepatitis B-virus worden genoemd dat een vorm van geelzucht veroorzaakt. Tot op heden dient het immunologisch werkzame oppervlakte-antigeen (*Hepatitis B surface Antigen*) HBsAg uit bloed van geïnfecteerde donoren te worden geïsoleerd. Inmiddels is men erin geslaagd een bacterie (*Escherichia coli*), doch ook gistcellen (de gewone bakkersgist *Saccharomyces cerevisiae*), waarin het DNA van het virus werd gedupliceerd (gekloneerd), een eiwit te laten produceren met dezelfde antigenische eigenschappen als HBsAg.

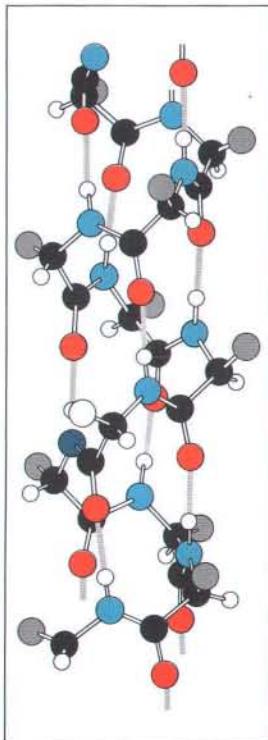
Andere voorbeelden zijn de klonering van het antigeen VP₁ van mond- en klauwzeervirus c.q. van poliovirus in *E.coli*. Uit dit type onderzoek blijkt dat vermoedelijk slechts bepaalde korte sequenties van aminozuren voor het opwekken van bescherming verantwoordelijk zijn. Bij het gebruik van recombinant-DNA-technieken moeten de antigenen niet alleen geproduceerd worden, doch ook door de gastheercel worden uitgescheiden. Bij de toepassing van *E.coli* of gistcellen kan dit problemen opleveren. Daarom richt meer recent onderzoek zich op het gebruik van zoogdiercellen, waarbij wel uitscheiding in het kweekmedium is te verwachten. Een aantrekkelijk alternatief vormen korte synthetische eiwitketens. Zo zijn beschermende antistoffen tegen difterietoxine opgewekt door drie peptiden te synthetiseren die overeenkwamen met bepaalde gebieden van de toxine-molecule.

Bij het ontwikkelen van recombinant-DNA-synthetische vaccins is de aard van het verkregen antigen van belang en met name de vraag of het korte synthetische peptide inderdaad in staat is een immuunrespons op te wekken. Niet alleen de juiste volgorde van de aminozuren speelt hierbij een rol, doch ook de ruimtelijke configuratie van de peptide. De volgorde van de aminozuren bepaalt het optreden van lokale draaiingen in de keten, de zgn. secundaire structuur, bijv. een helix-vorm. Vervolgens bepalen interacties tussen de secundaire structuren, hoe de keten vouwingen vertoont, die kenmerkend zijn voor de complexe tertiaire structuur van eiwitten. Nader onderzoek naar de biologische belangrijke configuratie is van belang voor optimale toepassing van synthetische peptiden als vaccin.

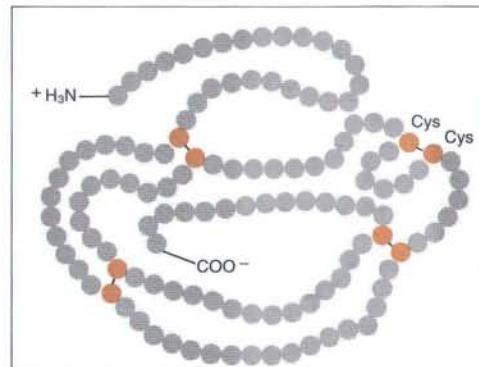


Rechts: In deze apparatuur worden cultuurfiltraten behandeld door middel van ultrafiltratie door de gele kolommen. Doel daarvan is om tot geconcentreerde eiwit- of virusmonsters te komen met een beperkt volume.

Rechts: Fig. 1. In dit schema van de secundaire structuur van een eiwit is te zien dat er zwakke verbindingen (waterstofbruggen, lichtgrijs) ontstaan tussen de stikstofatomen (blauw) van een aminozuur en een waterstofatoom (wit) van een verderop gelegen aminozuur. Hierdoor krijgt de eiwitketen een wenteltrap-structuur. Met zwart zijn koolstofatomen aangegeven, met rood zuurstofatomen.

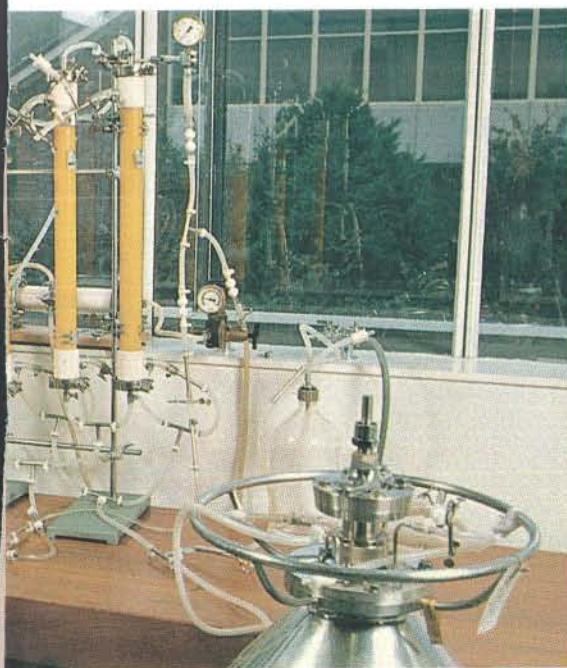


Geheel rechts: Fig. 2. De tertiaire structuur van een eiwit ontstaat door bindingen tussen de cysteïne-moleculen (bruin) die her en der in de keten voorkomen. De wijze waarop de keten gevouwen wordt, hangt af van de rangschikking van de cysteïne in de keten.



TABEL 1. Adjuvantia

Aluminium fosfaat of -hydroxide
Muramyl dipeptide
Antigeen-carrier complexen
Liposomen
Aggregatie
Sterische configuratie van antigenen
Water in olie-emulsie (Freund's compleet of incompleet adjuvans)



Conclusies

De 'vaccinologie' maakt mede door nieuwe moleculaire biologische en immunologische inzichten en biotechnologische mogelijkheden een stormachtige ontwikkeling door. Voor de vaccinatieprogramma's betekent dit dat de bereidingsmethoden voor diverse vaccins voortdurend verbeterd worden en de kans op bijwerkingen afneemt. Hierdoor wordt het vaccinatieprogramma als geheel effectiever.

Voor de vaccinatie van reizigers naar (sub-)tropische landen houdt dit in dat de huidige cholera- en tyfusvaccins verbeterd worden en uitzicht is op een malariavaccaan.

Voor speciale groepen staan hepatitis- en rabiesvaccin ter beschikking. Toepassing van moderne inzichten op het gebied van immuniteit van slijmvliezen is van belang bij de ontwikkeling van adequate vaccins voor sexueel overdraagbare infecties en infecties van het maag-darmkanaal. Tenslotte lijkt de bereiding van vaccins tegen tropische parasitaire infecties voor de eerste maal succesvol te zijn.

Adjvantia

Voor het opwekken van een goede immuniteit moeten de synthetische peptiden maar ook de via recombinant-DNA-technieken verkregen antigenen op een goede wijze aan het immuunsysteem worden gepresenteerd. Soms moeten adjvantia worden toegevoegd. Dat zijn stoffen die zonder zelf actief te zijn, de werking van het vaccin versterken. Adjuvering geschiedt ook bij geïnactiveerde virus en bacteriële vaccins, zoals kinkhoest, difterie en tetanus. Veelal gebruikt men hiervoor aluminiumfosfaat of aluminiumhydroxide (zie tabel 1).

Het principe is dat het antigeen aan het aluminium geadsorbeerd is en langzaam van de injectieplaats vrijkomt. Alhoewel aluminiumfosfaat of -hydroxide in principe wel te gebruiken zijn bij synthetische vaccins, wordt veel onderzoek gedaan naar andere adjvantia, bijvoorbeeld micellen (colloïdale deeltjes) en liposomen (fosfolipidebolletjes). De immunogenitie van de peptiden wordt daardoor sterk verhoogd. Meer onderzoek op dit terrein is essentieel om voor elk type antigeen een adequate immunisatiemethode vast te stellen.

Literatuur

Guinée, P.A.M., Embden, J. van, (1978). *Recombinant DNA onderzoek; een controversieel onderwerp dat (ook diergeneeskundige) beloften inhoudt*. Tijdschrift voor Diergeneeskunde 103, 22, pag. 1207-1216.
Haaijman, J.J., Egberts, E., (1982). *Monoklonale antistoffen. Een nieuwe ontwikkeling in de biotechnologie*. Natuur en Techniek 50, 1, pag. 54-71.
Hemert, P.A. van, e.a., (1981). *De bereiding van vaccins*. Pharmaceutisch Weekblad 116, pag. 83-92.
Ruitenberg, E.J., e.a., (1984). *Vaccinatie*. Tijdschr. Sociale Gezondheidszorg 62, 6, pag. 205-210.
Ruitenberg, E.J., Wezel, A.L. van, (1984). *Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van de biotechnologie ten behoeve van de vaccinbereiding en -toepassing*. Medisch Contact 39, 30, pag. 952-953.
Storm, P.K., (1983). *Veterinaire vaccins op basis van recombinant DNA*. Tijdschrift voor Diergeneeskunde 108, 3, pag. 109-111.
Tweel, J.G. van den, (1981). *Immunologie. Een historisch overzicht*. Natuur en Techniek 49, 1, pag. 2-17.

Bronvermelding illustraties

Alle foto's zijn afkomstig van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne in Bilthoven.

ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving
natuur en techniek

Satellietantennes binnenshuis getest

De Technische Hogeschool Eindhoven beschikt sinds kort over een meetstelsel om bepaalde typen antennes (b.v. satellietantennes) binnenshuis te testen. De ontwikkeling en de bouw van het meetstelsel kostte ruim één miljoen gulden. De meetfaciliteit is van belang voor wetenschappelijk onderzoek en komt ook beschikbaar voor opdrachtgevers uit de industrie.

Het meten van eigenschappen van satelliet- en radarantennes was tot nu toe in Nederland alleen mogelijk op meetbanen in de open lucht. Afhankelijk van de grootte van de antennes variëren de lengten van deze meetbanen van honderden meters tot enkele kilometers. Zo heeft het Christiaan Huygenslaboratorium in Noordwijk een meetbaan van ca. 3,5 kilometer. Buitenmeetbanen kunnen vanwege de klimatologische omstandigheden slechts enkele maanden per jaar gebruikt worden voor metingen. De meetkamer op de TH Eindhoven is vier bij acht meter en met behulp van geavanceerde apparatuur worden de eigenschappen van antennes automatisch gemeten. Door het toenemend gebruik van communicatiesatellieten en radar met millimeter golven werd de behoefte aan een faciliteit om antennes en antenne-systeem binnenshuis te kunnen testen groter. In de meetbaan zijn twee cilindrisch-parabolische reflectoren geplaatst en de oppervlakken hiervan voldoen aan hoge eisen van precisie (de tolerantie be-

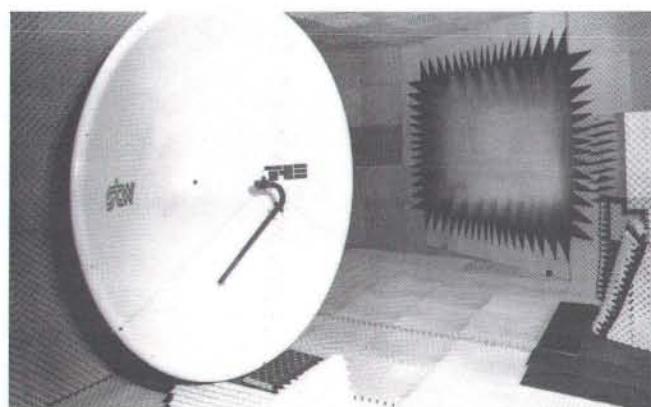
draagt 0,3 mm terwijl de grootste reflector 2,5 bij 3 meter meet). Het meetstelsel is gebouwd in een zogenaamde 'dode kamer' met een demping van -60 dB. Met behulp van deze opstelling wordt een hoogfrequent elektrisch veld geproduceerd dat beschouwd kan worden als een vlakke golf. Met zo'n veld wordt een kilometers lange meetbaan nagebootst. In dit veld, met een diameter van 1,8 meter, wordt de te onderzoeken antenne geplaatst. De THE kan met deze nieuwe meetbaan de eigenschappen van microgolfantennes met een diameter van 180 cm meten voor frequenties tot 100 GHz wat overeenkomt met een golflengte van 3 mm.

(Persbericht TH Eindhoven)

Witlofwortel in frisdrank

In een aantal frisdranken, zoals bitter lemon, bitter orange en tonic wordt kinine verwerkt om de drank een bittere smaak te geven. Eigenlijk is dat niet zo'n gelukkige toevoeging, hoewel het om slechts 10 à 15 mg per liter gaat, omdat kinine hard nodig is voor de bestrijding van malaria. Bovendien zijn sommige mensen allergisch voor deze stof. Bij het Sprenger Instituut in Wageningen wordt daarom gewerkt aan een onderzoek naar een vervangende bitterstof die gewonnen wordt uit de wortels van witlof.

Het onderzoek wordt uitgevoerd door mw. ir. E. Leclercq. Ze werkt voor dit doel samen met de vakgroep Levensmiddelentechnologie van de Landbouwhogeschool en hoopt over haar werk een proefschrift te schrijven.



Deze satellietantenne kan, dank zij de nieuw ontwikkelde meetbaan, ook bij ongunstig weer getest worden (Foto: TH Eindhoven).

ACTUEEL

In het verleden is geprobeerd bitterstoffen uit citrusvruchten te winnen maar die vielen niet in de smaak vanwege een bijsmaak. Voor het onderzoek dat nu plaatsvindt koos Leclercq de witlofwortel omdat daarin qua smaak met kinine vergelijkbare bitterstoffen voorkomen en omdat de grondstof royaal voorhanden is. Een probleem was echter dat de opbrengst niet zo indrukwekkend was als het sap op conventionele manier uit de wortels werd geperst. Daarom wordt nu geprobeerd het sap te winnen met behulp van enzymen. Dat zijn eiwitten die celwandjes van planten

Tot nu toe is het onderzoek zover gevorderd dat uit de witlofwortels enkele bitterstoffen gewonnen zijn die waarschijnlijk geen allergische reactie oproepen. Mevrouw Leclercq is tevens bezig te onderzoeken of er tegelijk met de bitterstoffen ook fructose uit de wortels gewonnen kan worden. Fructose is zoeter dan saccharose zodat een kleinere hoeveelheid volstaat om aan levensmiddelen dezelfde zoete smaak te geven. Met de inmiddels gewonnen bitterstoffen heeft Leclercq smaakproeven uitgevoerd bij de Landbouwhogeschool. Er namen honderd mensen aan deel, die de

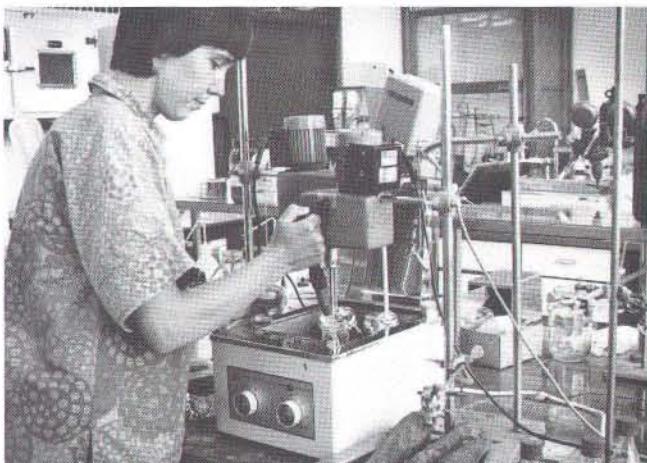
een vervolg. In de witlofwortel zitten namelijk drie stoffen die bitter zijn. Met elke van deze stoffen afzonderlijk en met enkele 'mixen' zullen nog smaaktesten worden gedaan.

(Nieuws uit Wageningen)

Chirurg aan de lopende band

In het Onderzoeksinstiut voor Microchirurgie van het Oog in Moskou wordt sinds kort letterlijk aan de lopende band geoperereerd. De aan dat instituut verbonden prof. Svyatoslav Fyodorov is de geestelijke vader van een operatie die bijziendheid kan herstellen. De operatie bestaat uit een aantal microchirurgische sneden in het hoornvlies en is blijkbaar zo gebeurd, want Fyodorov werkte tot voor kort dagelijks 35 tot 40 patiënten af. Meer patiënten op een dag lukte niet, omdat de voorbereiding voor dergelijke micro-ingrepen veel tijd vergen.

Om de capaciteit te verhogen heeft men nu een systeem ontwikkeld waarbij de patiënten, liggend op een bed, langs vijf operatieplaatsen gereden worden. Op elk van de plaatsen staat een chirurg, die steeds dezelfde handelingen uitvoert. Als nummer vijf klaar is, zijn alle noodzakelijke ingrepen gedaan en is de operatie voltooid. Als voordeel van deze methode geldt dat vijf patiënten tegelijk geholpen kunnen worden, terwijl elk deel van de ingreep door een daarin gespecialiseerde chirurg wordt uitgevoerd. Men hoopt op deze manier in de toekomst 250 operaties per dag te kunnen uitvoeren.



Mevrouw Leclercq tijdens de uitvoering van een vervloeiingsexperiment, waarbij enzymen smaakstoffen uit de witlofwortel vrijmaken. (Foto: LH Wageningen).

of vruchten oplossen, zodat het sap zo opgevangen kan worden. Die werkwijze heet 'vervloeiing'. Bij deze methode wordt de sapopbrengst hoger en uit dat sap kan dus meer bitterstof gewonnen worden. Het vervloeiën met enzymen wordt ook toegepast bij de productie van appelsap. Er worden verder nog proeven genomen met het vervloeiën van rode bieten, wortel en selderij.

nieuwe frisdranken moesten vergelijken met het winkelproduct. De proef pakte redelijk positief uit. In bitter-lemon werd de witlof-bitterstof door een meerderheid afgekeurd maar de minderheid vond de nieuwe smaak beter. Wat betreft tonic en bitter orange gaven de proefpersonen de voorkeur aan het nieuwe produkt. Het smaak-onderzoek krijgt nog

(Siemens-Zeitschrift)

Laser als atomaire sneeuwploeg

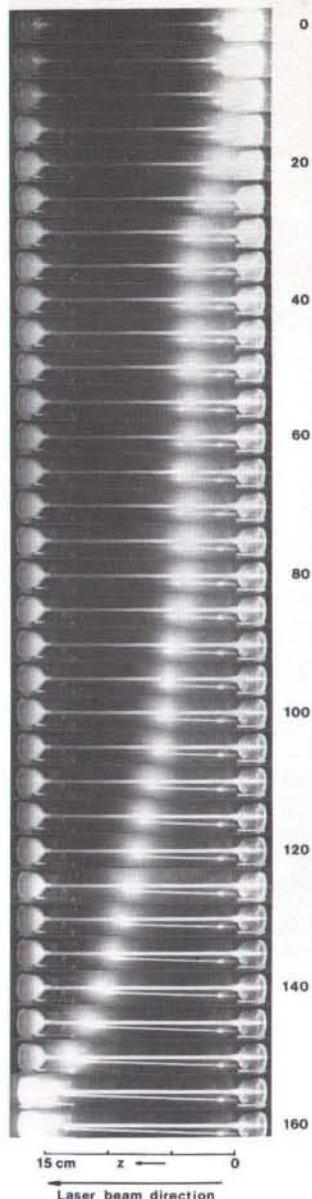
In het Leidse Huygens Laboratorium (Woerdman samen met Weerij, Kuscer en Beenakker) is kort geleden op experimentele wijze het bestaan van een uiterst merkwaardig verschijnsel aangetoond: de laser-geïnduceerde atomaire drift. Eind jaren zeventig had een Russische groep al theoretisch het bestaan van dit fenomeen voorspeld, maar het is eerst nu op werkelijk zeer elegante wijze experimenteel gedemonstreerd. Wat is laser-geïnduceerde drift? Met een laser zijn de fysici in staat atomen in een 'aangeslagen' of geëxciteerde toestand te brengen. Daarbij springt een elektron vanuit de dichtstbijzijnde baan (de grondtoestand) naar een baan verder van de atoomkern. Omdat atomen in een ruimte (hier een capillaarbuisje, ca. 20 cm lang) kras-kras door elkaar bewegen, vliegen sommige atomen het laserlicht tegemoet terwijl weer andere juist met de richting van het licht meebewegen. Dit geeft aanleiding tot het bekende Doppler-effect. Daardoor heeft het ene atoom een net iets ander lichtgolflempje nodig om in dezelfde aangeslagen toestand terecht te komen dan het andere. Andersom geredeneerd betekent het dat wanneer met een laser licht van een heel precies afgestemde golflengte wordt 'aangeboden', alleen atomen in een bepaalde bewegingsrichting dit licht voor een elektronsprong zullen accepteren.

In het Leidse experiment is de lasersgolflempje zo afgestemd dat alleen natrium-atomen met een snelheidscomponent naar de laser toe, worden aangeslagen. Het laserlicht wordt daarbij in de lengterichting van het capillaar gestraald. Er ontstaan zodoende twee groepen atomen: het 'aangeslagen groepje' zijn atomen die

zich naar de laser toe bewegen, de 'resterende' atomen (in de grondtoestand) bewegen zich derhalve, gemiddeld gesproken, van de laser af. Aangezien aangeslagen atomen altijd zeer snel onder uitzending van licht naar hun grondtoestand terugvallen (binnen ca. een honderdmiljoenste seconde) is zo'n groepje eenvoudig 'herkenbaar' doordat het licht uitslaat (in ons geval het bekende geel-oranje licht van de natriumstraatlantaarn).

Op zich zou dit alles nog geen echte dynamiek in het systeem brengen. Zoals gezegd verblijven de atomen maar uiterst kort in een aangeslagen toestand, ze vervallen weer vrijwel ter plaatse en het laserlicht doet zijn werking weer opnieuw op dezelfde plaats in het capillaire. Dat er een bepaalde bewegingsrichting geselecteerd is op grond van het Doppler-verschijnsel komt niet tot uiting.

Het wordt heel anders als er behalve natrium nog andere atomen aanwezig zijn, als een zogenaamd 'buffergas', bijvoorbeeld argon. Er treden dan botsingen op tussen argon- en natrium-atomen en, wat essentieel is, tussen argon-atomen en de natrium-atomen in aangeslagen toestand, dus voör ze naar de grondtoestand teruggevallen zijn. Dit laatste botsingsproces nu heeft een grotere kans dan het eerste (aangeslagen atomen zijn als het ware 'groter' en het argon botst er dus eerder mee). Met andere woorden, de grotere, in aangeslagen toestand verkerende natrium-atomen (bewegend naar de laser toe, de reden immers waarom ze aangeslagen werden) botsen frequenter met argon-atomen dan de natrium-atomen in de grondtoestand die gemiddeld de andere kant op gaan. In één bepaalde richting



Een lichtend front van vervallende natriumatomen wordt door een laserstraal 'voortgeschoven'. Bovenaan staande serie toont één experiment, de foto's zijn om de vijf seconden genomen (Foto: Huygens Laboratorium, RU Leiden).

ACTUEEL

(naar de laser toe) vallen er dus de meeste klappen, zodat er een netto-stroom van natrium-atomen de andere kant op ontstaat (van de laser af, of anders gezegd: met het laserlicht mee). Experimenteel is het alsof de laserstraal een lichtend front steeds verder het capillaire induwt. Dit heeft als het ware een sneeuwploeg-effect tot gevolg: de opgeduwde natrium-atomen veroorzaken een opschuiven, dicht front. Vóór het achter het front blijkt de natriumconcentratie met een factor 500 te verschillen (vóór het front de dichte, opgeduwde massa natrium-atomen, achter het front een als het ware 'leeggezogen' ruimte). In de Leidse opstelling duwt de laser het lichtende natriumfront met een snelheid van ongeveer een millimeter per seconde door het capillaire. Deze laser-geïnduceerde driftsnelheid wordt bepaald door de wijze waarop de atomaire sneeuwploeg (het opschuivende natriumfront) 'zijdelings' botst met de glaswand van het capillaire buisje.

Er zal nu verder bekijken worden in hoeverre met deze methode isotopen gescheiden kunnen worden. Deze laser-geïnduceerde drift heeft niets uitstaande met de zogeheten 'stralingsdruk', het fenomeen waarbij de lichtkwanta (fotonen) zelf verantwoordelijk zijn voor het doen bewegen van atomen (bijvoorbeeld de staart van een komeet; zo'n staart ontstaat doordat tengevolge van intense lichtstraling van de zon talloze deeltjes in de komeet verdampen en vervolgens door de photonen worden 'weggeblazen', vandaar dat de kometenstaart ook van de zon af gericht is). De hier beschreven laser-geïnduceerde atomaire drift is puur 'klassiek' te begrijpen: Doppler-effect en botsingen met een buffergas.

Dr. A.F.J. van Raan
Huygens Laboratorium
Rijksuniversiteit Leiden

Ondersteboven in de ruimte

Tijdens een van de Gemini-vluchten in de jaren zestig werd een van de astronauten wakker. Voor zijn ogen zag hij vijf wijzerplaten van polshorloges spookachtig oplichten in de duisternis. "Dit is wel erg gek", moet zijn eerste gedachte geweest zijn. Vervolgens besloot hij een van de horloges aan te raken en terwijl hij er naar greep zag hij hoe het horloge met zijn arm meebewoog. Toen pas

geen enkel gevoel gehad van waar zijn armen zich bevonden. Tweede voorbeeld: tijdens een werk pauze aan boord van Skylab mogen de astronauten graag naar een raam zweven om naar de aarde te kijken. Omdat zij dan wel de aarde boven en de hemel onder zien, draaien zij zich vaak even om, zodat zij de aarde nu wel onder zich zien. Op het moment dat zij uitgekeken zijn, maken zij een



Alleen de bordjes op de achtergrond verraden dat astronaut John Young 'ondersteboven' hangt, en niet collega Ulf Merbold. (Foto: NASA/ESA).

begreep hij wat er aan de hand was. Terwijl hij en zijn collega naast hem sliepen, waren hun armen gaan zweven, waardoor hun polsen op ooghoogte terechtgekomen waren. En de vier polsen droegen inderdaad vijf horloges. Het was dus geen zinsbegoocheling geweest; hij had gewoon goed gezien wat er zich voor zijn ogen afspeelde. Hij had alleen

merkwaardig fenomeen mee. De andere bemanningsleden lopen over wat zij als het plafond zijn gaan beschouwen, de vloer van Skylab. De astronaut is elk gevoel voor boven en onder verloren en heeft enige tijd nodig om zich weer aan zijn veranderde oriëntatie in de ruimte aan te passen. Dit voorbeeld laat zien dat ruimtevaarders, zelfs tijdens gewicht-

ACTUEEL

loosheid een gevoel hebben van wat 'onder' is en zelfs gedesoriënteerd raken als ze ondersteboven hangen. Astronaut Joe Kerwin omschreef dit gevoel kernachtig: "down is where the feet are". Hij beschreef ook een gevoel van angst om te vallen als hij met zijn voeten eerst door de tunnel in Skylab zweefde, een gevoel dat hij niet kende als hij met zijn hoofd eerst door dezelfde tunnel ging. Dan ging hij immers 'omhoog'.

Twee Britse onderzoekers, Ken Money en Doug Walt, hebben op basis van deze en andere verhalen een experiment opgezet dat in Spacelab 1 is uitgevoerd. Zij gingen daarbij uit van vier mogelijke verklaringen van deze verschijnselen. Mogelijk was er sprake van verwarring bij het wakker worden, zonder dat er een waarneembaar 'onder' is. Van de andere kant zou de verwarring veroorzaakt kunnen zijn door niet waargenomen oriëntatieveranderingen tijdens de slaap. Een derde mogelijke verklaring werd gezocht in de stelling dat het proces in het zenuwstelsel dat ervoor zorgt dat we enig gevoel hebben waar onze ledematen zich bevinden, afhankelijk is van enig gevoel van wat 'onder' is. Ten slotte hielden zij rekening met de mogelijkheid dat de genoemde verschijnselen het resultaat waren van de neiging om de richting van de voeten als 'onder' te beschouwen.

Het eigenlijke experiment was zeer eenvoudig: de astronaut die als proefpersoon optrad werd geblindektd. Zwevend door het ruimteschip moest hij de plaats aanwijzen van bepaalde voorwerpen, waarvan hij zich vooraf de positie ingeprent had. Bovendien moest hij aangegeven in welke positie zich zijn handen en voeten bevonden en welke hoek zijn ellebogen en knieën maakten. Deze laatste tests werden zowel met gespannen als met ontspannen spieren uitgevoerd. Deze proef werd

een aantal keren herhaald; direct na het ontwaken en midden op de dag, na vijf en na vijftien minuten met blinddoek op. Om de mate van aanpassing aan langdurige gewichtslosheid te meten, werden de experimenten zowel aan het begin als aan het eind van de vlucht uitgevoerd. Bij de experimenten bleek dat de proefpersonen langzaam om hun lengte-as draaiden, zonder dat zij dat zelf merkten. Maar, aangezien zij zich wel bewust waren van die mogelijkheid, waren zij heel onzeker bij het aanwijzen van voorwerpen. Twee van de vier proefpersonen merkten dat zij veel minder gevoelig waren voor de positie van armen en benen, dan op Aarde, zij het dat zij dat alleen bij ontspannen spieren voelden. Als de spieren gespannen waren, of bij bewegingen, was alles normaal. Toch maakten zij bij het experiment in de ruimte iets meer fouten dan zij op aarde hadden gemaakt.

Er waren geen duidelijke verschillen in de uitkomsten van de experimenten direct na het ontwaken, met die gedaan in de loop van de dag. Het ontwaken en alles wat daarmee zou kunnen samenhangen speelt blijkbaar geen enkele rol in deze verschijnselen. Evenmin was er verschil tussen het begin en het eind van de vlucht, maar zo stellen de onderzoekers, gezien het kleine aantal proefpersonen is hierbij enige sceptis op zijn plaats.

Het experiment is tenslotte nog eens herhaald op verschillende tijdstippen na terugkeer op aarde. Alles verliep daarbij normaal, behalve dat heel vaak een enorme fout werd gemaakt bij het aanwijzen van voorwerpen aan het plafond. Vóór de vlucht waren die niet voorgekomen en na verloop van tijd nam dit verschijnsel duidelijk af, al kwam deze fout tot vijf dagen na de landing nog voor.

(*New Scientist*)

Gouden eieren

Als u met Sinterklaas of Kerst een gouden ei aangeboden krijgt, en op het doosje staat 'Made in Singapore', dan is er alle kans dat het een echt gouden ei is. Twee inwoners van deze oosterse stad hebben patent op de productie ervan aangevraagd. De truc is eigenlijk heel eenvoudig: men neme een vers ei en men bore een gaatje in de punt. Met behulp van een injectienaald wordt vervolgens de inhoud uit het ei gezogen, waarna de binnenkant van de schaal met een fijn straatje water schoongemaakt wordt.

Vervolgens worden door het gaatje zeer fijne loden balletjes in

het ei gebracht. Het ei wordt opgevuld met fijn gemalen was en met wat was afgesloten. Vervolgens wordt langs elektrische weg een laagje koper op het ei aangebracht. De volgende stap is om het ei in een oven te verhitten, zodat de was en het lood smelten; het lood zal dan naar een punt van het ei zakken. Het resultaat is dat het ei ongeveer zijn normale gewicht terug heeft en bovendien rechtop blijft staan. Daarna hoeven nog slechts een laagje nikkel, een laagje goud en wat lak aangebracht te worden en het sprookje is klaar.

(*New Scientist*)

Longemfyseem: oorzaak nog onbekend

Net als astma en bronchitis is longemfyseem een chronische longaandoening. Deze ziekte is echter veel minder bekend. Als oorzaak van arbeidsongeschiktheid komt hij in de Westerse wereld echter op de zesde plaats. Longemfyseem is een complexe ziekte, waarbij de toestand van de long steeds verder achteruit gaat. Vaak komt deze ziekte voor in combinatie met andere longaandoeningen, bijvoorbeeld bronchitis. Kenmerkend is dat de longblaasjes slapper worden. Ze blijven daardoor steken in de uitgerekte inademingsstand en veren bij het uitademen niet terug. Op den duur verdwijnen de scheidingswandjes tussen de longblaasjes, waardoor het ademend oppervlak van de long steeds kleiner wordt. Het gevolg is een voortdurende kortademigheid, die bij de minste of geringste inspanning alleen maar erger wordt.

Over het ontstaan van emfyseem is vrijwel niets bekend. Het is denkbaar dat hormonen een rol spelen, aangezien de ziekte vooral voorkomt bij mannen van 40 jaar en ouder. De wandverslapping wordt mogelijk veroorzaakt door veranderingen in de elementaire bouwstoffen van het bindweefsel in de longblaasjes. Die veranderingen kunnen niet alleen optreden in de verschillende vezels van het bindweefsel, maar ook in de verbindingen daartussen, de verbindingen tussen de vezels en de omringende grondsubstantie en tenslotte ook in de macromoleculen, waaruit die grondsubstantie is opgebouwd.

Naar de laatste mogelijkheid wordt onderzoek gedaan door de werkgroep Biochemie van het Longweefsel van de Katholieke Universiteit Nijmegen. Zij ont-

dekten dat de samenstelling van één groep macromoleculen uit de grondsubstantie, de proteoglycanen (PG-en), in een emfysematische long afwijkt van een normale.

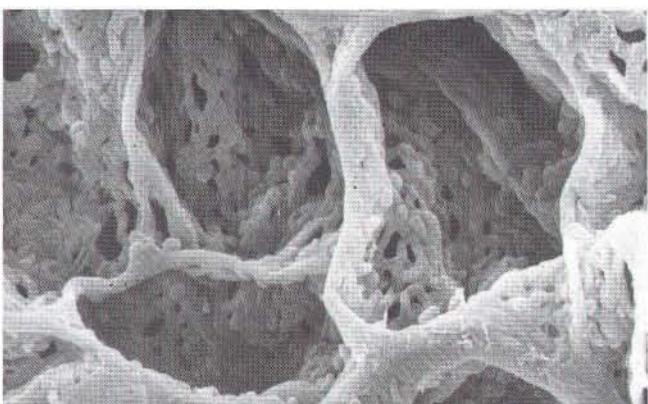
PG-en zijn vrij grote moleculen. Ze bestaan uit eiwitketens met meerdere suikerketens als vertakkingen. Er zijn verschillende PG-en, waarvan de lokalisatie in de longwand wordt onderzocht met behulp van een elektronenmicroscoop. Bij de identificatie van de verschillende PG-en wordt gebruik gemaakt van enzymen die de suikerketens afbreken, specifieke kleuringen en van immunologische technieken. Door de resultaten bij een emfysematische long met die bij een gezonde long te vergelijken, krijgt men meer inzicht in het ontstaan van longemfyseem.

Dergelijk onderzoek biedt wel meer inzicht, maar geen sluitende verklaring voor het ontstaan van longemfyseem. Duidelijk is immers dat ook uitwendige factoren een rol spelen bij deze ziekte. Zo

hebben de met chronische bronchitis samenhangende voortdurende hoestbuien een verwoestend effect op de long. Dat geldt ook voor de inademing van giftige stoffen (roken, luchtvontreiniging). De slappe longblaasjes worden daardoor nog verder aangeslagen. Sommige onderzoekers houden het zelfs voor mogelijk dat deze factoren op zichzelf al een oorzaak van longemfyseem vormen.

Goede hoestbestrijding en stoppen met roken zijn dan ook belangrijk om het afbraakproces in de long te vertragen. Klachten kunnen verder worden verlicht met medicijnen en een goede ademhalingstechniek, zodat de resterende longcapaciteit zo efficiënt mogelijk wordt gebruikt. Zo lang echter inzicht ontbreekt in de precieze oorzaken van longemfyseem, is genezing onmogelijk. Het aftakelingsproces kan hooguit worden geremd. De dooddooener: "U moet er maar mee leren leven" is voorlopig nog van toepassing bij deze ziekte.

**Adriaan van den Brule,
Henk van Beunigen en
Eric Claas**
*Katholieke Universiteit
Nijmegen*



Deze elektronenmicroscopische opname toont nog gezonde longblaasjes met stevige wanden. (Foto: KU Nijmegen).

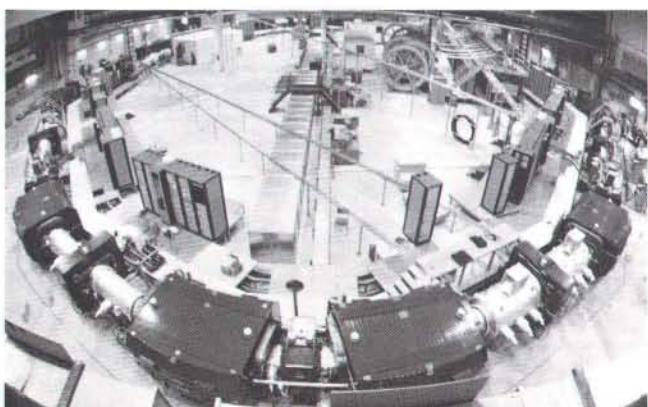
Nobelprijs Natuurkunde 1984 voor Simon van der Meer

De toegekennung van de Nobelprijs 1984 bracht niet alleen de lang verwachte erkenning van het fundamentele belang van de recente CERN-experimenten, het betekende ook, voor het eerst sinds 31 jaar, een Nobelprijs Natuurkunde voor een Nederlander: dr.ir. Simon van der Meer, geboren in 1925 in Den Haag en sinds 1956 verbonden aan het CERN, de Europese Organisatie voor Kernfysisch Onderzoek in Genève. Van der Meer studeerde in 1952 cum laude af als ingenieur in de technische natuurkunde aan de TH van Delft. Na drie jaar werkzaam te zijn geweest op het Nat-Lab van Philips in Eindhoven, vertrok hij naar CERN en voegde zich daar bij de Delftse ingenieursgroep die zó'n belangrijke rol heeft gespeeld bij de bouw van de vele generaties geavanceerde deeltjesversnellers die in dit Europese laboratorium in bedrijf geweest zijn of dit nog steeds zijn. Simon van der Meer kreeg de Nobelprijs samen met prof. dr. Carlo Rubbia, de leider van het team dat in 1983 de ontdekking voor het W- en Z-boson op zijn naam bracht. De prijs werd overigens strikt genomen niet toegekend voor deze ontdekking zelf, maar voor 'decisive contributions to the large project, which led to the discovery of the field particle W and Z, the mediators of weak interaction'. Met deze formulering kon het Nobelcomité zowel de cruciale rol erkennen van Van der Meer bij de constructie van de speciale opslagring-versneller die het CERN-experiment mogelijk had gemaakt, als de klap omzeilen dat het reeds in 1979, vooruitlopend op de experimentele bevestiging,

een Nobelprijs Natuurkunde had toegekend aan S. Glashow, A. Salam en S. Weinberg voor het theoretische unificatie-model dat tot de (nu exact gebleken) voor-spelling van de W- en Z-deeltjes had geleid.

Het vertrekpunt voor het hedendaagse inzicht is dat iedere kracht teruggebracht kan worden tot het uitwisselen van kwanta, zogenaamde bosondeeltjes. Zo zijn de bekende elektromagnetische wisselwerkingen een gevolg van het uitwisselen van fotonen. Het W- en Z-boson zijn uitwisselingskwanta van de zwakke wisselwerking, een kracht die o.m. een rol speelt bij radioactieve vervalprocessen. De ontdekking van deze bosonen bracht niet alleen de experimentele bevestiging van hun bestaan, het feit dat ze bij een door de theorie voorspelde zeer hoge massa (ongeveer 100 maal die van het proton) werden gevonden, bracht tevens de bevestiging dat de zwakke en elektro-

magnetische krachten in feite twee facetten vormen van éénzelfde onderliggend krachtenveld, de zgn. elektro-zwakke kracht. Deze kennis-stap wordt omschreven als de unificatie van het zwakke en elektromagnetische krachtveld. Zelf is het elektro-magnetische veld is trouwens zelf óók het produkt van een door Maxwell aan het einde van de vorige eeuw verrichte unificatie van elektrische en magnetische krachten, krachten die tot dan als onafhankelijk waren beschouwd. De redenen waarom fysici steeds pogen krachtvelden te 'unificeren' zijn dezelfde als die waarom ze naar een minimum aan elementairste bouwstenen zoeken: de beschrijving van de natuur wordt er eenvoudiger door en dus 'mooier', symmetrischer en dus fundamenteel. Opgemerkt moet hier worden dat deze elektro-zwakke unificatie alleen asymptotisch (eenvoudig) zichtbaar wordt, d.w.z. voor wisselwerkingen bij zeer hoge energieën. Alhoewel er bij 'gewone' energieën nog vele sporen aan te treffen zijn van deze asymptotische gelijkheid (vandaar dat het unificatieconcept überhaupt zin heeft), gaan bepaalde symmetrieën toch



In dit apparaat worden de dichte bundels anti-protonen, nodig voor botsingsexperimenten, gerecreëerd. (Foto: CERN, Genève).

ACTUEEL

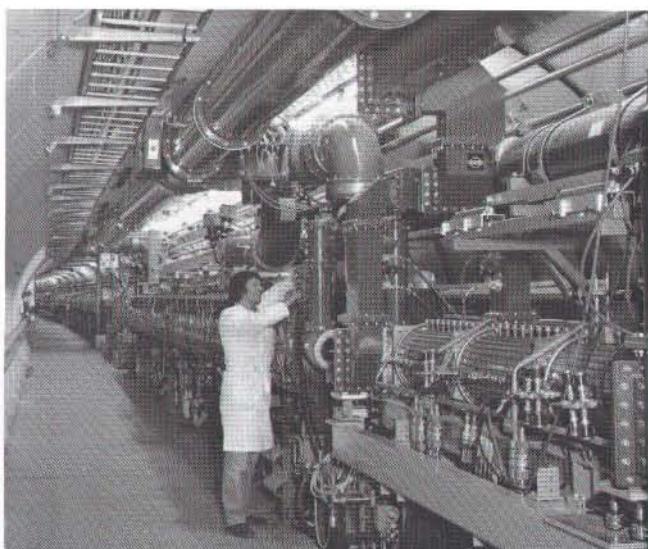
gedeeltelijk verloren. Men spreekt bij de elektro-zwakke unificatie daarom ook van een gebroken symmetrie. Een ongebroken symmetrie zou massaloze W- en Z-bosonen vereisen (net als het foton). Bij zeer hoge wisselwerkingen wordt het ef-

ze wijze zouden, zonder al te grote extra kosten, de energieën beschikbaar voor de productie van nieuwe deeltjes worden vertwintigvoudigd. Een aparte en zeer cruciale vraag was of het wel mogelijk zou zijn een dergelijke machine zo te voeden met een anti-

oplossing heeft uitgevonden en uitgewerkt die uiteindelijk tot een positieve beantwoording van deze vragen heeft geleid.

Reeds in 1968 - d.w.z. ruim voor aan de constructie van een proton-antiproton botsingsring werd gedacht - had van der Meer een eenvoudig maar technisch gedurfde schema voorgesteld, waardoor het mogelijk zou worden compacte en dus meer intensieve, anti-proton bundels te maken. Het betrokken principe staat bekend als 'stochastische koeling'. Vereenvoudigd komt het er op neer, dat van een aanvankelijke 'brede' anti-proton bundel, die aan het ronddraaien is in een magnetische opslagring, op een bepaald doorgangspunt van deze ring, zowel de plaats als de snelheid van ieder anti-proton deeltje afzonderlijk wordt gemeten. Aan het betrokken anti-proton deeltje wordt dan verderop in de ring een op deze meting gebaseerde *individueel* elektrisch correctie-duwtje gegeven. Daardoor worden de anti-protonen zowel ruimtelijk als qua snelheid naar een gemiddelde waarde gedwongen en ontstaan nauwe en intensieve bundels. De technische complicaties worden duidelijk als men bedenkt dat de te 'corrigeren' deeltjes ronddraaien met een snelheid in de buurt van de lichtsnelheid. Uiteraard vergt deze methode dus snelle elektronische impulsen, eveneens met lichtsnelheid de opslagring dwars oversteken en daardoor in staat zijn het betrokken rondlopende deeltje in te halen c.q. op te wachten.

De mede-toekenning van de Nobelprijs 1984 aan dr. S. van der Meer onderlijnt en erkent hoe essentieel de rol is van de versnellerbouwers bij het slagen van een hoge-energiefysica experiment.



In het Super Proton-synchrotron van CERN, een 7 km lange ring, komen de proton-antiprotonbotsingen tot stand. (Foto: CERN, Genève).

fekt van de massa van de W- en Z-bosonen verwaarloosbaar en manifesteert de symmetrie zich in ongebroke vorm.

Om de zeer zware W- en Z-deeltjes te kunnen produceren zijn zeer energetische deeltjesbundels nodig van een voldoende hoge intensiteit. Omstreeks 1976 werd door Rubbia in CERN en door D. Cline en P. McIntyre in de Verenigde Staten, het voorstel gedaan om bestaande grote proton-versnellers om te bouwen tot proton-antiproton botsingsringen met gebruikmaking van de (kostbare) reeds in de versneller-ring aanwezige magneten. Op de-

protonbundel, dat er met een redelijke frequentie botsingen optreden met de (in tegenovergestelde richting lopende) protonen. Of anders gezegd: of het wel mogelijk zou zijn een dergelijke machine te voorzien van anti-proton bundels met voldoende hoge intensiteit en voldoende kleine (dwars-) afmetingen.

Anti-protonen zijn namelijk niet alleen notoir moeilijk te maken, ze vertonen nu hun productie (zowel ruimtelijk als qua snelheid) een veel grotere spreiding dan vergelijkbare protonbundels. De grote verdienste van dr. Van der Meer ligt in het feit dat hij een

Prof.dr. R.T. Van de Walle
Katholieke Universiteit Nijmegen

Filterbuizen beheersen grondwaterstand

De Heidemij heeft een niet alle-
daagse oplossing ontworpen voor
de stabiliteitsproblemen van de te
graven hoofdwatergang naar het
Lekgemaal bij Lopik in de ruil-
verkaveling Lopikerwaard. De
oplossing bestaat uit het slaan
van zeven filterputten tot een
diepte van 45 m, waardoor kunst-
matig het grondwaterpeil, dat
sterk onder invloed staat van de
waterstand in de Lek, in de hand
kan worden gehouden.

De Landinrichtingsdienst heeft
voor de ruilverkaveling Lopiker-
waard een afwateringsplan ge-
maakt dat aangeeft dat er een
aantal nieuwe tochten gegraven
moeten worden. Het doel ervan is
om tot een betere drooglegging
van de gronden te komen en een
snellere afvoer van overtollig wa-
ter mogelijk te maken. De afvoer
van overtollig water vindt plaats
op de Lek met behulp van één ge-
maal, dat tussen Schoonhoven en
Jaarsveld wordt aangelegd.

De hoofdwatergang naar dit ge-
maal krijgt aanzienlijke afmetin-
gen: een diepte van ca. 3,50 m en
een bovenbreedte van ca. 20 m.
De aanleg van deze 'maaltocht'
bleek in verband met de slechte
bodemgesteldheid niet zonder
problemen te kunnen worden ge-
realiseerd. Bij hoge waterstanden
in de Lek loopt het grondwater-
peil in de onder het klei- en veen-
pakket aanwezige zandlaag na-
melijk zodanig op, dat gevreesd
moest worden dat in de bodem
van de watergang vele wellen zouden
ontstaan en de taluds zouden
bezwijken. Een verzwaren op de
bodem en van de taluds zou echter
te kostbaar worden.

De Heidemij, die de voorberei-
ding van deze ruilverkaveling ver-
zorgt, heeft met behulp van een
hydrologisch modelonderzoek



Het inlaten van de filterbuizen in een daarvoor geboord gat. Duidelijk zichtbaar zijn de perforaties die uiteindelijk een verbinding met de zandlaag tot stand zullen brengen. (Foto: Heidemij).

een oplossing gevonden die aan-
zienlijk goedkoper is.

In de zandlaag die onder het klei-
en veenpakket aanwezig is wor-
den op zeven plaatsen naast de
maaltocht tot op een diepte van
ca. 45 m filterbuizen aangebracht
die over de gehele dikte van het
zandpakket zijn geperforeerd. In
het klei- en veenpakket zijn de
buizen dicht. De buizen monden
uit in betonnen putten. In deze
putten worden de buizen afgesloten
door een vlinderklep. Met behulp
van een elektromotor kunnen
de kleppen worden geopend en gesloten.
Bij hoge waterstanden in de Lek worden
de kleppen via een elektrisch signaal
geopend en wordt water uit de zandonder-
grond door de filterbuizen in de

maaltocht gelaten. Met behulp
van het gemaal wordt dit water
weer op de Lek afgevoerd.

Door deze constructie wordt
voorkomen, dat het grondwater-
peil in de zandondergrond te
hoog oploopt en dat stabiliteits-
problemen voor de bodem en de
taluds van de maaltocht ont-
staan. Daalt de waterstand in de
Lek dan gaan de vlinderkleppen
in de buizen automatisch dicht,
waardoor de waterafvoer uit de
ondergrond weer wordt gestopt
en de grondwaterspiegel in perio-
den met lage waterstanden in de
Lek niet zal dalen. Hierdoor
wordt schade door zetting (ge-
bouwen e.d.) voorkomen.

(Persbericht Heidemij)

BEZIENSWAARDIG

Volkssterrenwacht Galileï

In oktober is met de nodige feestelijkheden de Volkssterrenwacht Galileï in gebruik genomen. De sterrenwacht is eigen- dom van de Stichting Gooise Volkssterrenwacht, die tot nu toe ook al sterrenkijkavonden orga- niseerde in het Zeiss Planetarium Amsterdam. Nu er een nieuw, groot instrument in gebruik is ge- nomen, kan er echter van een heuse volkssterrenwacht worden gesproken. Nergens anders in Ne- derland bestaat de combinatie van volkssterrenwacht en plane- tarium; alleen in het Zeiss Plane- tarium Amsterdam kan de ster- renhemel ook bij bewolkt weer worden waargenomen.

Behalve maankraters, planeten, dubbelsterren enz. kunnen met de kijker ook zonnevlekken worden waargenomen (in de zomermaan- den); een zeer hoogwaardig zon- nefilter zal binnenkort gemon- teerd worden.

De Stichting Gooise Volksster- renwacht organiseert in de wintermaanden elke vrijdagavond kijkavonden. Iedereen is welkom tussen 20.00 en 22.00 uur. Om 20.30 uur wordt een planetarium- voorstelling gehouden. Voor in- formatie: ☎ 020-9634844.

Neder-land uit water

In het Rijksmuseum van Geolo- gie en Mineralogie te Leiden is tot en met 19 mei 1985 de tentoonstelling Neder-land uit water te zien, waarin een overzicht ge- geven wordt van de geologische geschiedenis van Nederland. Bij- zondere aandacht wordt besteed

aan de invloed van het water. In de loop van 300 miljoen jaar werd het land door de activiteit van rivieren en zee telkens weer opgebouwd en – geheel of ge- deeltelijk – weer afgebroken. Bij dat samenspel was een groot aan- tal factoren van invloed.

Zo heeft de noodzaak de zee- weringen op 'deltahoogte' te brengen, te maken met de ijstijden, waarvan de laatste ongeveer 10000 jaar geleden eindigde.

Vele miljoenen jaren vroeger be- dekte de Krijt-zee onze streken. Aan de oppervlakte vinden we daarvan nog overblijfselen terug in Zuid-Limburg, waar – in de grotten van de Sint Pietersberg – ook restanten van het grootste fossiel uit ons land, de maashage- dis, gevonden zijn. Samen met de botten van dit dier werden ook de restanten van andere zeebewo- ners uit deze tijd aangetroffen.

Vrijwel de oudste periode, die zijn sporen in de ondergrond dui- delijk heeft nagelaten, is het Car- boon. Zo'n 300 miljoen jaar geleden bedekten Carboombossen de bodem van ons land. Ze werden nu en dan overstroomd door de zee en hebben ons uiteindelijk de steenkool opgeleverd, die lange tijd in de mijnen van Zuid-Lim- burg ontgonnen is. Maar ook een aanzienlijk deel van het aardgas is een eindproduct van de inko- ling van het plantenmateriaal uit het Carboon.

Een overzicht met profielen van de ondergrond die laten zien welke lagen aardolie, aardgas of steenkool bevatten, is te zien in de maquette van Nederland en het continentale plat.

Wie geïnteresseerd is in de geolo- gie van het land kan aan de hand van deze maquette een uitgebreide hoeveelheid kennis opdoen over de opbouw van en de fossiele delfstoffen in de ondergrond. De tentoonstelling is te bezichtigen in het Rijksmuseum van Geo- logie en Mineralogie, Hooglandse Kerkgracht 17, 2312 HS Leiden.

Het museum is geopend: maandag tot en met vrijdag van 10 tot 17 uur en op zondag van 14 tot 17 uur. De toegang is gratis. ☎ 071-124741.

Dierenschilder

In het Koninklijk Belgisch Insti- tuut voor Natuurwetenschappen is tot 27 januari een tentoonstel- ling te zien van werken van de Canadese dierenschilder Robert Bateman.

Bateman is een van de zeldzame hedendaagse dierenschilders, waarvan werk over de hele wereld tentoongesteld wordt. Het natuurlijk milieu is zijn geliefde thema. Na een realistische periode schakelde hij over op hedendaag- se stijlen. Later keerde hij terug naar het realisme, maar in zijn composities zijn sporen van het cubisme en het impressionisme nog aanwijsbaar.

De tentoonstelling omvat 21 wer- ken van groot formaat. Vele van de afgebeelde dieren zijn te zien in de tijdelijke tentoonstelling van zoogdieren uit de hele we- red.

Het instituut is gevestigd Vautier- straat 29, 1040 Brussel en de ten- tooontstelling is alle dagen geopend van 9.30 tot 12.30 uur en van 13.30 tot 16.45 uur. Voor inlich- ting: ☎ 02-6480475

Jubileumcongres

EVOLUTIE VAN HET ONDERWIJS

8 en 9 februari 1985
Jaarbeurs Utrecht



**natuur
en
techniek**

IN DE NATUURWETENSCHAPPEN



De lezers van Natuur en Techniek (wij denken daarbij in het bijzonder aan leraren en studenten) krijgen een speciale gelegenheid om deel te nemen aan het Congres van de Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen (NVON).

De jubilerende NVON houdt dat Congres tijdens de Nationale Onderwijs Tentoontelling (NOT), op vrijdag en zaterdag 8 en 9 februari 1985 in de Jaarbeurs te Utrecht.

De titel van het congres luidt:

EVOLUTIE VAN HET ONDERWIJS IN DE NATUURWETENSCHAPPEN

Onder deze noemer wordt een gevarieerd lezingen- en activiteitenprogramma geboden, dat ook aansluit bij het thema van de NOT: *De computer in school en maatschappij*.

Vanwege het jubileum heeft de NVON haar jaarlijkse congres dit jaar extra groots opgezet. Daarom is samenwerking gezocht met andere instanties. Ook Natuur en Techniek heeft een belangrijke bijdrage geleverd.

De bekende Engelse wetenschapspublicisten Nigel Calder en Dr. Bernard Dixon zijn door ons gevraagd een deel van het programma voor hun rekening te nemen. Verder vertonen we de film *De sleutel tot het Heelal* en zal Prof. dr. R.T. Van de Walle mede naar aanleiding daarvan een lezing houden over de laatste ontwikkelingen op het gebied van de elementaire deeltjes.

Behalve Natuur en Techniek, leveren bijvoorbeeld ook de organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) en de Stichting Veldstudie Centra (SVC) hun bijdragen aan het NVON-congres. NVON, SVC en Natuur en Techniek hebben met het IVN op de Nationale Onderwijs Tentoontelling een gezamenlijke tentoonstellings- en informatiestand, waarvoor Natuur en Techniek de presentatie verzorgt. Wie het NVON-congres bijwoont kan dus twee vliegen in één klap slaan en tegelijk de NOT bezoeken. Dit nationale evenement is een must voor alle onderwijsgevenden.

Wij geven u op de volgende pagina's een overzicht van het lezingenprogramma, waarvoor u, als lezer van Natuur en Techniek, speciaal wordt uitgenodigd.



E. Jongejan
Congresorganisator
NVON

Th.J.M. Martens
Directeur-Hoofdredacteur
Natuur en Techniek

Vrijdag 8 februari

9.00 - 10.00 uur	Inschrijving en koffie Julianahal
10.00 - 10.15 uur	Openingstoespraak Drs. E.J. Hendriks, voorzitter NVON Marijkehal, zaal 2
10.15 - 10.45 uur	Openingslezing Ir. W.A. de Jong Voorzitter Raad van Bestuur TNO Onderwijs: van zoeken tot onderzoeken <p>De toenemende invloed van wetenschap en technologie op ons maatschappelijk leven dwingt haast tot een versterking van het onderwijs in de natuurwetenschappen. Hoe kan ons weinig flexibele onderwijsstelsel in een tijd van bezuinigingen nog blijven, en aansluiten op de behoeften van wetenschap en industrie?</p>
10.45 - 11.00 uur	Koffie Marijkehal

Aansluitend op de openingslezing kunt u kiezen uit een programma binnen het thema:

Evolutie van het onderwijs in de natuurwetenschappen

Alle lezingen vinden plaats in zaal 2 van de Marijkehal

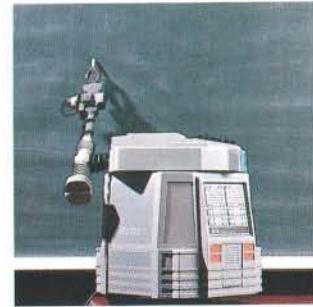
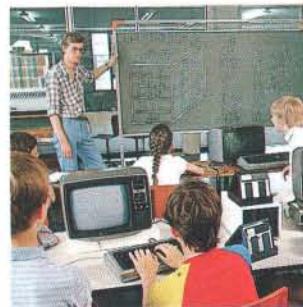
11.15 - 12.00 uur	Prof. dr. H.A.M. Snelders Rijksuniversiteit, Utrecht Het middelbaar onderwijs in de natuurwetenschappen gedurende de periode 1863 - 1930 <p>In de eerste helft van de vorige eeuw werd steeds meer de behoefte gevoeld aan middelbaar onderwijs, waarin ook de natuurwetenschappen werden gedoceerd. We moeten daarvoor echter wachten tot de middelbaar-onderwijs-wet van 2 mei 1863. Hoe was het peil van dat middelbaar onderwijs in natuurkunde, scheikunde en biologie rond 1900, en hoe snel werden nieuwe ontdekkingen in de schoolboeken opgenomen?</p>
-------------------	---



12.00 - 13.00 uur	Dr. ir. H.G.G. Frens Philips
Chemie: van structuurformules naar procesbeheersing	
	Chemici denken vaak in moleculen en atomen. Toch is die denkwijze ontoereikend voor nieuwe procestechnologieën (chips, glasfibers e.d.). Dat probleem is een uitdaging aan het moderne scheikunde-onderwijs.
13.00 - 14.00 uur	Lunch Julianahal
15.15 - 16.00 uur	Prof. dr. ir. A. Rörsch Raad van Bestuur TNO Voorzitter Redactie-Adviesraad Natuur en Techniek
	De mens als genetische erflater
	Organismen zijn als soort niet onveranderlijk. De mens kan nu DNA van één soort in een andere overbrengen; met alle ethische aspecten van dien. Onderwijs en voorlichting hebben de taak risico's en mogelijkheden in hun juiste proporties voor te spiegelen.
16.00 - 16.45 uur	Dr. Bernard Dixon Oud-hoofdredacteur New Scientist, Londen
	Onderwijs ten dienste van de technocratie?
	In een democratie moet je op de hoogte zijn om mee te kunnen praten. Maar is dat nog wel haalbaar met de verbijsterende diversiteit aan onderwerpen die er bestaan? Wat kan een leraar natuurwetenschappen daar nog aan doen?
17.00 - 23.15 uur	Lustrumfeest Julianahal
Zaterdag 9 februari	
9.30 - 10.30 uur	Dr. H.A.M. van Eekelen Shell
	Aan de basis van wetenschap en technologie: het voortgezet onderwijs in de natuurwetenschappen
	Natuurkunde, scheikunde, biologie en aardrijkskunde verzorgen in het voortgezet onderwijs een kennismaking met wetenschap en technologie, en meer in het bijzonder een inleiding tot het hoger onderwijs. Natuurwetenschappen en technologie worden bij industriële operaties nog steeds belangrijker. Dat heeft natuurlijk zijn gevolgen voor het onderwijs. Hoe vallen algemene vorming en een nieuwe pragmatiek met elkaar te rijmen?



10.30 - 11.00 uur	Koffie Marijkehal
11.00 - 12.00 uur	Prof. dr. Glen S. Aikenhead University of Saskatchewan, Canada A view of the future of science teaching Hoe zal het onderwijs er in 2005 uitzien? Hoe pakken gewijzigde doelstellingen uit, in een nieuwe intellectuele context? De actieve rol van de (gemiddelde) docent moet hierbij niet onderschat worden.
12.00 - 13.00 uur	Forum Waarheen met ons onderwijs in de natuurwetenschappen? Voorzitter: J. van Trommel. In het forum hebben zitting: Prof. dr. Glen S. Aikenhead, Dr. Bernard Dixon, Drs. A. Schermer (vakdidacticus biologie, VU, Amsterdam), Dr. J. Schröder (vakdidacticus natuurkunde, RU, Groningen) en Drs. B.H. Jürgens (inspecteur AVO/VWO). De forumleden zullen ingaan op reacties van congresgangers, naar aanleiding van de lezingen binnen het thema: 'Evolutie van het onderwijs in de natuurwetenschappen'.
13.00 - 14.00 uur	Lunch Julianahal
14.00 - 15.00 uur	Nigel Calder Free-lance wetenschapspublicist, Engeland Is popularisering van de wetenschap haalbaar? Nigel Calder heeft onder andere de film <i>De sleutel tot het heelal</i> gemaakt, die zaterdag van 11.00 - 13.00 uur in de Marijkehal, zaal 3, te zien is. Zijn komst, die van Bernard Dixon en die van de volgende spreker Prof. dr. R.T. Van de Walle, is mogelijk gemaakt door Natuur en Techniek.
15.00 - 15.15 uur	Thee Marijkehal
15.15 - 16.00 uur	Prof. dr. R.T. Van de Walle Onderzoek naar de fundamentele bouwstenen der materie: raakvlak tussen het oneindig kleine en oneindig grote Fundamenteel materie-onderzoek is de laatste tijd in een stroomversnelling gekomen. Dat heeft geleid tot de 'unificatietheorie' van de zwakke en de elektromagnetische wisselwerkingen, en leert ons ook over het gedrag van het heelal na de oerknal.
17.00 - 20.30 uur	Lustrumreceptie en buffet



Algemene informatie

Informatie over de lezingen en alle andere activiteiten op het NVON-congres kunt u krijgen bij drs. E. Jongejan, congresorganisator NVON, Interstudie NLO, Postbus 30011, 6503 HN Nijmegen; telefonisch bij het Congresbureau: tel. 080-459955 toestel 316, 319 of 233.

Opgave

Opgave kan geschieden door de kaart in dit nummer vóór 18 januari, in te sturen naar de congresorganisator.

De deelname is gelimiteerd; volgorde van inschrijving is bepalend. Na ontvangst van de kaart krijgt u direct het NVON-congresblad met uw inschrijvingsformulier toegestuurd. Na de inzending van dat formulier en betaling van de u daarop toegezonden acceptgirokaart bent u deelnemer van het congres. Bij de ontvangst in de Julianahal krijgt u alle benodigde documentatie.

Tijdens de NOT is eventueel nog een beperkte inschrijfmogelijkheid.

Kosten

De inschrijfkosten bedragen f 25,-.

U kunt zich inschrijven voor de lunches op vrijdag en/of zaterdag (à f 20,- per keer) en ontvangt dan tevens consumptiebonnen voor koffie en thee in de pauze.

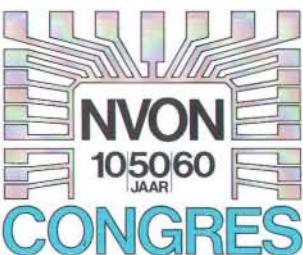
Vrijdagavond wordt een warm en koud buffet verzorgd in het restaurant van de Julianahal, aansluitend op het (gratis) aperitief van 18.45 uur. De kosten daarvan, inclusief die voor het aansluitende NVON-jubileumfeest, zijn f 40,-.

Zaterdag is er een receptie in Holiday Inn. De kosten van buffet en feest daarna zijn eveneens f 40,-.

Voor de bovengenoemde activiteiten, én voor alle andere, niet in deze aankondiging vermelde congres-onderdelen (lezingen, films, demonstraties, etc.) kunt u zich dus inschrijven met de formulieren die het Congresbureau u to stuurt na ontvangst van de kaart uit dit nummer. Ook hotelreservering kan via het Congresbureau worden geregeld.

In het NVON-congresblad treft u tevens informatie over een mogelijke subsidieregeling voor uw reis- en verblijfkosten.

Aan de illustrering van deze aankondiging werkten mee:
Arlcapress fotografie, Haarlem
Fotoredactie Natuur en Techniek
Paul Meilaart, Maastricht
E. Jongejan, Milsbeek
N.V. Optische Industrie De Oude Delft
Stichting Veldstudie Centra, Orvelte



natuur
en
techniek

Op de Thermen - Postbus 415
6200 AK Maastricht (Ned.)

NATUUR EN TECHNIEK

GEÏLLUSTREERD POPULAIR-WETENSCHAPPELIJK MAANDBLAAD



Een radiolamp in wording

Terwijl de vervaardiging van een normale gloeilamp van het begin tot het einde vrijwel geheel machinaal geschiedt en ook het aanbrengen van den gloeidraad mechanisch kan worden uitgevoerd, bestaat een radiolamp uit een te ingewikkeld systeem om hierbij een „hand met verstand“ te kunnen missen.

Voor de montage van het inwendige van de radiolampen, dat bij de Octode zelfs het record-aantal van zes roosters bevat, is een uiterste nauwkeurigheid een eerste vereischte. Een gloeidraad, een oxydkathode, zes roosters en tenslotte de anode, bevinden zich bij de Octode in een cylindervormige ruimte met een straal van één en een hoogte van twee centimeter! En wanneer we bedenken, dat de plaats van al deze onderdelen geen millimeter mag afwijken en dat alles onwrikbaar vast gelascht moet worden, begrijpen we, dat de opbouw van zoo'n Octode een secuur werkje is.

Wij zien toe, hoe een van de meisjes met gefoede vingers de octode monteert, ragfijne roosters op hun plaats brengt en lascht. En we zien, hoe de octode onder haar bekwame handen groeit.

In de lampvoet zijn acht draden gesmolten, waarvan de beide buitenste lange en dikke draden dienen om de geheele inwendige constructie te dragen, terwijl de overige voor het contact met de roosters en de anode moeten zorgen. De kathode, de roosters en de anode bevinden zich bij de octode tusschen twee metalen plaatjes met micareepen voor de isolatie. Dit mica wordt nog met een bijzonder preparaat bedekt, waardoor vermeden wordt dat zich gedurende de bewerkingen metaaldeeltjes hierop vastzetten en daardoor de isolatie verminderen, hetgeen natuurlijk een zeer nadeeligen invloed op de werking der uiterst gevoelige roosters zou uitoefenen. Uit dergelijke kleinigheden kunnen we opmaken, hoeveel zorg en arbeid aan zoo'n octode besteed wordt, voordat deze kant en klaar is.

Naar een wereld-telefooncentrale

Machtig en grootsch rijst in beneden New-York, dat er zich op kan beroemen de eerste Wolkenkrabber te hebben geproduceerd een nieuw gebouw omhoog, een gebouw, dat werelden, landen en mensen verbindt en dichter bijeenbrengt. Het is een telefoon-centrale en een typisch voorbeeld van Amerikaansche bouwstijl, die met lijnen en vlakken werkt en de hoogte zoekt.

Hier in dit gebouw heeft men jaren geleden het eerst de overzeesche telefoonondienst met Londen geopend. Nu is daar de grootste verbindingscentrale geschapen, die de wereld heden kent. Als voor een moloch, die eten moet, veel en steeds, om zijn bestaan te verzekeren, zijn hier honderden, duizenden, milioenen telefoons aangesloten.

In reusachtige stapels liggen de boeken opgehoopt, die de namen der telefoon-abonnee's bevatten. Op het oogenblik zijn 95 procent van alle telefoons ter wereld vanuit New-York bereikbaar. Speciaal gedrilde telefonisten bedienen de vele schakelborden en stoppen en zij vragen en antwoorden, antwoorden in alle talen der wereld.

Miljoenen kunnen vanuit New-York aangesproken, bereikt worden. Hoeveel mensen het zijn, men waagt het zelfs niet dat te schatten. Steeds weer komt er een nieuw land bij. Eerst kort geleden werden de Philipijnen aangesloten benevens de laatste Hacienda in Uruguay en Palestina.

Mechanische hersens

In Amerika is men bezig met de constructie van een rekenmachine die 6 ton weegt en welke in 15 min. problemen oplost, waaraan 5 mathe-matici vier maanden werk hebben.

Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij

Zojuist verschenen:

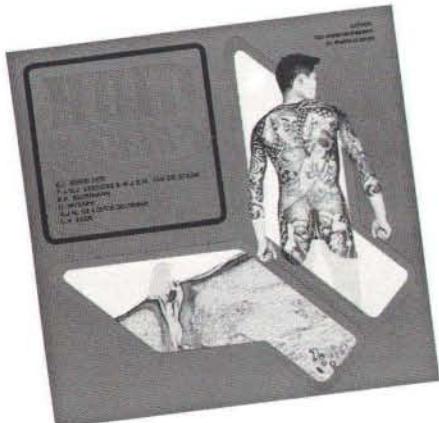
HUID & HAAR

Onze huid is meer dan alleen een verpakking voor het menselijk lichaam. Zij speelt een onmisbare rol in allerlei levensprocessen. De huid kan echter ook gezien worden als een venster van onze emoties en speelt een onmiskennbare rol in de communicatie. Mensen worden vaak beoordeeld op hun uiterlijk: een fraai gebronde huid, zonder rimpels, pukkels en andere onvolkomenheden geldt als symbool van schoonheid en gezondheid. Veel mensen nemen daarom hun toevlucht tot zonnebanken en cremes om het buitenste orgaan zo voordelig mogelijk uit te laten komen. Mensen wier huid door huidziekten is aangetast, worden vaak gemeden of geweerd.

De huid speelt een belangrijke rol in het psychische en sociale leven. Innig huidcontact is belangrijk, evenals de behoefte bij sommige groepen om door middel van uiterlijke tekens (bijv. tatoeages) hun verbondenheid uit te drukken.

Deze diverse aspecten van de huid worden in dit Cahier uitgebreid en op een aantrekkelijke manier behandeld.

Inhoud en auteurs



De huid als identiteit

E.J. Birfelder

Biologische functies van de huid

P.J.P.M. Bessemens en
W.J.B.M. van de Staak

De huid als venster van emoties

P.P. Moorman

Huidcontact tussen mensen

H. Musaph

Lepra: veroordeeld tot isolement

A.J.M. de Liefde-Doorman

Huid en statussymboliek

C.H. Beek

Voor abonnees op de Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij is dit het derde nummer van de huidige 9e jaargang. Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 32,50 of 620 F. Voor studenten en/of abonnees op Natuur en Techniek f 30,- of 570 F. Losse

nummers f 8,50 of 160 F (excl. verzendkosten). Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek - Informatiecentrum - Op de Thermen - Postbus 415 - 6200 AK Maastricht. Tel. 043-54044. Vanuit België: 00-314354044.

Wat je van erfelijkheid moet weten voor je aan kinderen denkt.

Erfelijke factoren bepalen mede de geestelijke en lichamelijke gesteldheid van kinderen. Het is goed dat aanstaande ouders zich tegenwoordig over deze materie kunnen laten voorlichten. En het is ook goed dat particuliere ziektekostenverzekeraars en het Ziekenfonds de kosten daarvan betalen.

Er is nu een boekje verschenen over erfelijkheidsvoorlichting dat u

eens moet lezen. Dit boekje van de Vereniging Samenwerkende Ouders- en Patiëntenorganisaties kunt u gratis aanvragen.

Een gefrankeerde brief naar:
IDC, Postbus 70, 3500 AB Utrecht
is voldoende.

**ERFELIJKHEIDSVOORLICHTING.
ZORG DAT Ú DE WEG WEET.**